รหัสโครงการ SUT7-704-49-12-56

รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้ระบบตั๋วโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID เพื่อการจัดตารางเวลาเดินรถโดยสารประจำทาง

(The Application of Automatic Ticket Collection System and RFID System for Bus Route Scheduling)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์กาญจน์กรอง สุอังคะ

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2549

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ตุลาคม 2550

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2549 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศาสน์ สุขประเสริฐ ในฐานะที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ช่วยให้คำปรึกษาและเสนอแนะอย่างใกล้ชิด รวมทั้งคณะทำงานของโครงการวิจัยนี้ทุกคนที่ช่วยให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณคณะนักศึกษาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบริษัทพฤษภาเดินรถจำกัด ที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ประโยชน์ของผลงานวิจัยจะเกิดขึ้นมิได้ หากผู้ที่เกี่ยวข้องมิได้นำไปสู่การปฏิบัติ คณะผู้วิจัยจึงขอมอบคุณความดี หรือประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากผลงานวิจัยนี้ แด่ผู้ที่มีใจรักและต้องการพัฒนาระบบขนส่งมวลชนให้มีความยั่งยืนสืบไป

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงแนวทางในการนำเอาระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID มาประยุกต์ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลผู้โดยสารและการแจ้งตำแหน่งของรถโดยสารอัตโนมัติ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาด้านวิศวกรรม การออกแบบโครงข่ายในการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล ฐานข้อมูล การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ และศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการศึกษานี้ได้ทดลองเก็บข้อมูลภาคสนามของการเดินรถโดยสารประจำทางที่มีระดับการให้บริการด้านความแออัดของผู้โดยสารอยู่ในเกณฑ์ดี 1 สาย คือสาย 17 มาทดลองจัดเที่ยวเดินรถใหม่ โดยใช้แบบจำลองในการจัดเที่ยวเดินรถโดยสาร ด้วยการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น สำหรับวิเคราะห์หาจำนวนเที่ยวเดินรถในแต่ละช่วงเวลาเพื่อให้ผู้ประกอบการได้รับผลกำไรสูงสุด ภายใต้สมการข้อบังคับที่คำนึงถึงคุณภาพในการให้บริการในเรื่องระยะเวลารอคอยรถและจำนวนที่นั่ง โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาประเมินผลกระทบจากการปรับปรุงการให้บริการตามวิธีการที่นำเสนอ ผู้ประกอบการจะสามารถลดต้นทุนในการเดินรถได้ 0.7 ล้านบาทต่อปี อีกทั้งสามารถลดระยะเวลารอคอยของผู้โดยสาร 7 นาทีต่อคนเที่ยวคิดเป็นมูลค่า 1.2 ล้านบาทต่อปี การศึกษานี้สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID มาใช้เพื่อการจัดการเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17 ในจังหวัดนครราชสีมานั้นมีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์

คำสำคัญ: รถโดยสารประจำทาง / ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ / ระบบ RFID / กำหนดการเชิงเส้น

Abstract

This study presents the integrated guideline of automatic fare collection system and the RFID system for the purpose of improving the methods of data collection and passenger information systems. The procedures of this study were divided into two parts. The first part was the details of the RFID network, the functionality of the system, the system hardware and software architecture. The second part was the evaluation of bus-operator and user impacts of frequency changing on the selected bus route no.17 which provided good service of passenger load. This study used an integer linear programming model to find trip frequencies for operation periods. The objective was to maximize operator's profit with constraints of quality of service, which are passenger waiting time and passenger load. The result of this study appeared that the schedule could be designed to reduce operating cost which was 0.7 million Baht per year and improve the level of service, especially a decrement of 7-minutes of passenger-waiting time which was 1.2 million Baht per year. The evaluation of engineering and economics showed that the integrated of automatic fare collection system and the RFID system could possible use for bus route no.17 in Nakhon-Ratchasima Province, Thailand.

Keywords: Bus / Automatic Fare Collection System / RFID System / Linear Programming

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของการศึกษา	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
วิธีดำเนินการวิจัย	3
ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
การบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะ	5
คุณภาพการให้บริการของรถโดยสารประจำทาง	7
การปรับปรุงคุณภาพด้านความน่าเชื่อถือ	12
ผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนตารางเวลาเดินรถโดยสารประจำทาง	13
โครงสร้างต้นทุนในการประกอบกิจการเดินรถโดยสารประจำทาง	14
ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ	16
ระบบบ่งชี้อัตโนมัติ	20
บทที่ 3 แนวทางการออกแบบ	
แนวคิดของการพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลผู้โดยสารรถโดยสารประจำทาง	29
การศึกษาเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทางในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา	33
การกำหนดจุดติดตั้งระบบ RFID และโครงข่าย RFID	35
ข้อมูลและการประมวลผลด้วยซอฟท์แวร์	40

หน้า

บทที่ 4 การประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์
ผลกระทบต่อผู้ประกอบการ 51
ผลกระทบต่อผู้โดยสาร 56
สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ 59
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ
สรุปผลการศึกษา 60
ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาต่อไป 61
บรรณานุกรม 62
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 64
ภาคผนวก ข 72
ภาคผนวก ค 80

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ระดับการบริการด้านความแออัด (Passenger Load LOS)	9
ตารางที่ 2.2	ระดับการบริการด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability LOS)	10
ตารางที่ 3.1	จุดติดตั้งเครื่องรับสัญญาณวิทยุ และเส้นทางเดินรถโดยสารที่วิ่งผ่าน	35
ตารางที่ 3.2	ลักษณะทางกายภาพของบริเวณที่เป็นจุดหยุดรับส่ง	37
ตารางที่ 3.3	ข้อมูลสำหรับการจัดเที่ยวเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17	47
ตารางที่ 3.4	จำนวนเที่ยวเดินรถสำหรับเส้นทางเดินรถสาย 17	49
ตารางที่ 4.1	ข้อมูลเกี่ยวกับตัวรถโดยสารประจำทาง	52
ตารางที่ 4.2	รายละเอียดค่าใช้จ่ายคงที่ในสำนักงาน	52
ตารางที่ 4.3	สรุปค่าใช้จ่ายของบริษัทเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17	53
ตารางที่ 4.4	สรุปผลกระทบต่อผู้ประกอบการเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17	54
ตารางที่ 4.5	ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการแสดงตำแหน่งรถโดยสารด้วยระบบ RFID	55
ตารางที่ 4.6	ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้โดยสารรถโดยสารประจำทางสาย 17	56
ตารางที่ 4.7	สรุปผลกระทบจากการใช้ระบบ RFID	59
ตารางที่ ข.1	รายละเอียดค่าใช้จ่ายคงที่	73
ตารางที่ ข.2	มูลค่าคงเหลือของรถโดยสารประจำทาง (Minibus)	75
ตารางที่ ข.3	ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์และการติดตั้งของระบบ RFID	78
ตารางที่ ข.4	เงินลงทุนในการจัดหาระบบ RFID	79
ตารางที่ ข.5	มูลค่าคงเหลือของระบบ RFID	79

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะ 6

รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการตัดสินใจใช้บริการรถโดยสารประจำทาง 8

รูปที่ 2.3 ผังการทำงานของระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติของรถไฟใต้ดินกรุงโซล 17

รูปที่ 2.4 ผังการทำงานของระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ 17

รูปที่ 2.5 เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติและบัตรโดยสารอิเล็กทรอนิกส์ 18

รูปที่ 2.6 เครื่องตรวจบัตรโดยสารที่ติดตั้งไว้บนรถโดยสารประจำทาง 19

รูปที่ 2.7 อุปกรณ์เชื่อมต่อระบบบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้คำนวณค่าโดยสาร 19

รูปที่ 2.8 ระบบบ่งชี้อัตโนมัติ (Auto-ID) ในปัจจุบัน 20

รูปที่ 3.1 ผังการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ และระบบประมวลผล 31

รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้เก็บค่าโดยสารและบอกตำแหน่งรถโดยสารอัตโนมัติ 32

รูปที่ 3.3 เส้นทางการเดินรถโดยสารประจำทางในเขตนครราชสีมาทั้ง 19 สาย 34

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งของป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสารที่ทำการติดตั้งระบบ RFID 20 จุด 36

รูปที่ 3.5 จุดหยุดรับส่งผู้โดยสาร 39

รูปที่ 4.1 รายได้ของผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางในพื้นที่ศึกษา 58

บทที่ 1
บทนำ

ระบบรถโดยสารประจำทาง เป็นระบบขนส่งสาธารณะที่มีความสำคัญต่อการเดินทางของประชาชนที่ไม่มียานพาหนะส่วนตัวเป็นอย่างมาก รถโดยสารประจำทางนั้นสามารถแบ่งการให้บริการได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะให้บริการคือ แบบที่มีเส้นทางเดินรถที่แน่นอน (Fixed Route) และแบบที่ไม่มีเส้นทางเดินรถที่แน่นอนการให้บริการขึ้นกับความต้องการของผู้เดินทาง (Demand Responsive Service) ซึ่งความแตกต่างในการให้บริการทำให้การบริหารจัดการเดินรถนั้นมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดลักษณะการให้บริการคือ ปริมาณผู้โดยสาร พัฒนาการของการให้บริการขึ้นอยู่กับความต้องการในการเดินทางหรือจำนวนผู้โดยสาร หากยังมีอยู่น้อยการให้บริการเดินรถโดยสารจะเป็นไปตามคำเรียกร้องของผู้โดยสาร ลักษณะคล้ายกับการให้บริการรถแท็กซี่ในปัจจุบัน เมื่อเมืองมีการพัฒนามากขึ้น จำนวนผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังปลายทางเดียวกันในปริมาณที่มากพอ ย่อมทำให้ผู้ประกอบการเดินรถสามารถกำหนดเส้นทางเดินรถที่แน่นอนได้ ดังนั้นในการบริหารการเดินรถ การจัดเที่ยวเดินรถ วางแผนพนักงานขับรถ และจำนวนรถโดยสารที่จะต้องจัดให้มีในแต่ละเส้นทางเดินรถนั้น จะต้องอาศัยข้อมูลปริมาณผู้โดยสารในแต่ละช่วงเวลา เป็นตัวแปรหลักในการวางแผนเสมอ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา

ความสำคัญของการศึกษาความต้องการในการเดินทางนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการวางแผนระบบการขนส่ง เช่นเดียวกันกับการบริหารจัดการเดินรถโดยสารประจำทางให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลนั้นต้องทราบจำนวนผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางในตลอดเส้นทางการเดินทาง โดยผู้ประกอบการเดินรถจะสามารถจัดเที่ยวการเดินรถให้เหมาะสมกับผู้โดยสารที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลา เช่น มาตรการเสริมเที่ยวรถโดยสารเพื่อลดความแออัดของผู้โดยสารในชั่วโมงคับคั่ง หรือการลดเที่ยวเดินรถเพื่อลดการเดินรถเที่ยวเปล่า

ในการสำรวจความต้องการในการเดินทางของผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง หากปราศจากเครื่องมือหรือระบบสนับสนุนในการเก็บข้อมูล สามารถใช้วิธีสำรวจได้ 2 วิธี โดยวิธีที่ 1 จะใช้พนักงานสำรวจ นั่งนับจำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นลงในแต่ละสถานีหยุดรับส่งผู้โดยสาร ตลอดเส้นทางการเดินรถ หรือวิธีที่ 2 จะให้พนักงานสำรวจนั่งประจำสถานีหยุดรับส่งผู้โดยสารทุกจุด ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง ในการนับผู้โดยสารที่ขึ้นหรือลงในแต่ละสถานี เมื่อทำการหักลบกัน จะได้จำนวนผู้โดยสารที่ยังโดยสารไปบนรถคันที่สำรวจ และพนักงานจะต้องทำการบันทึกระยะเวลาที่ใช้ระหว่าง

สถานีตลอดเส้นทาง ซึ่งวิธีการสำรวจนี้เป็นวิธีที่ล้าสมัยและใช้งบประมาณในการสำรวจเป็นจำนวนมาก หากต้องทำอย่างต่อเนื่อง และทำให้การจัดเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ให้ทันต่อเหตุการณ์นั้นทำได้ยาก อีกทั้งขาดความสนใจจากผู้ประกอบการเดินรถเนื่องจากคิดว่าการปรับปรุงระบบเก็บข้อมูลนั้นต้องใช้งบประมาณมาก ส่งผลให้ผู้โดยสารลดลงอันเนื่องจากคุณภาพการให้บริการที่แย่ลง

จากปัญหาที่กล่าวในข้างต้น จะเห็นว่า การบริหารจัดการเดินรถที่ดีจำเป็นต้องมีการระบบการจัดเก็บข้อมูล ที่มีความประหยัดค่าใช้จ่าย และสะดวกต่อการนำไปวิเคราะห์ผล การศึกษานี้จึงมุ่งเน้น ที่จะศึกษาถึงแนวทางในการนำเทคโนโลยีของระบบตั๋วโดยสารอัตโนมัติ และระบบ RFID (Radio Frequency Identification) เพื่อมาปรับใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการเดินรถโดยสารให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมและเศรษฐกิจ ในการนำระบบจำหน่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติ และระบบ RFID ติดตั้งในรถโดยสารประจำทาง สำหรับการเก็บข้อมูลปริมาณผู้ใช้รถโดยสารประจำทาง เพื่อการบริหารจัดการเดินรถ และการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ
2. เพื่อจัดทำโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจัดเที่ยวเดินรถโดยสารประจำทาง ให้สอดคล้องกับข้อมูลปริมาณผู้โดยสารที่ได้รับจากการนำระบบเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID มาใช้ในการเก็บข้อมูล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เนื่องจากเป็นโครงการวิจัยประยุกต์ การวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาหาแนวทางในการประยุกต์ ใช้เทคโนโลยีที่มีในปัจจุบันให้สามารถนำมาใช้เพื่อการบริหารจัดการเดินรถโดยสารประจำทางได้อย่างเป็นระบบ สร้างความน่าเชื่อถือในการให้บริการ ขอบเขตของการวิจัยนี้ต้องการที่จะนำเสนอแนวทางการนำระบบเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ จัดตารางเดินรถโดยสารให้เหมาะสมกับปริมาณผู้โดยสาร และวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อผู้ประกอบการเดินรถ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านวิศวกรรม และด้านเศรษฐศาสตร์ ในการนำระบบตั๋วโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID มาประยุกต์ใช้ในปรับปรุงการให้บริการเดินรถโดยสารประจำทาง เพื่อให้เป็นสะดวก ประหยัดในการจัดเก็บข้อมูลปริมาณผู้โดยสาร สำหรับการนำเข้าสู่การวิเคราะห์การจัดเที่ยวเดินรถโดยสาร และกำหนดเป็นตารางเดินรถโดยสารต่อไป

แนวทางในการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การศึกษารวบรวมข้อมูล งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   - การทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการจัดตารางเดินรถโดยสารประจำทาง
   - การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการนำระบบ RFID และเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติมาใช้เพื่อกิจการขนส่ง
   - ศึกษาถึงรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลสำหรับการประมวลผล ในการจัดตารางเวลาเดินรถโดยสารประจำทาง
2. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม ของการนำเอาเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ และระบบ RFID มาติดตั้ง เพื่อการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ
   - ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้เครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ และระบบ RFID ทางด้านเทคนิคความเหมาะสมในเชิงวิศวกรรมเพื่อการเก็บข้อมูลปริมาณผู้โดยสารในแต่ละเส้นทาง
   - การเก็บข้อมูลตำแหน่งป้ายหยุดรับส่ง ผู้โดยสาร ในบริเวณพื้นที่ศึกษา
   - การวางโครงข่าย ตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องรับสัญญาณวิทยุ
3. ศึกษาถึงความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ในการนำเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ และระบบ RFID เข้ามาใช้เพื่อการปรับปรุงการบริหารจัดการเดินรถ ในแง่ของผู้ประกอบการ
   - ศึกษาถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ดำเนินการ หากมีการนำเทคโนโลยีนี้เข้ามาใช้ในการจัดการเดินรถ
   - ศึกษาถึงค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการในสภาพปัจจุบัน โดยจะทำการคัดเลือกผู้ประกอบการเดินรถโดยสารประจำทาง จำนวน 1 บริษัทเพื่อเป็นตัวอย่างในการศึกษา
   - เปรียบเทียบผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงไป ของผู้ประกอบการและผู้โดยสาร
4. ศึกษาแนวทางในการนำเข้าข้อมูลจากระบบเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID ออกแบบวิธีในการประมวลผลและแสดงผลการจัดตารางเวลาเดินรถ
   - การกำหนดข้อมูลที่จำเป็น สำหรับการนำเข้าข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ในโปรแกรมจัดตารางเวลาเดินรถ
   - กำหนดรูปแบบ การนำเสนอผลการจัดตารางเวลาเดินรถ

5. การจัดทำรายงาน แนวทางที่ได้จากการศึกษาความเหมาะสมทั้งในด้านวิศวกรรม และเศรษฐศาสตร์ จะถูกรวบรวมและสรุปผล รวมทั้งการนำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดตารางเวลาเดินรถที่สอดคล้อง สามารถประยุกต์ใช้ระบบตั๋วอัตโนมัติและระบบ RFID ติดตั้งบนรถโดยสารประจำทาง

1.5 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาแนวทางการนำระบบเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID มาใช้ในการบริหารจัดการเดินรถโดยสารประจำทางนั้น นอกจากจะทำให้ผู้ศึกษาและผู้สนใจทราบถึงแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID และระบบเก็บตั๋วโดยสารอัตโนมัติ กับการเก็บข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการเดินรถ และทราบถึงผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ผลการศึกษาหากถูกนำไปสู่การปฏิบัติยังสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง 3 กลุ่มดังนี้

<u>ผู้ประกอบการเดินรถโดยสารประจำทาง</u>

- สามารถลดภาระในการว่าจ้างพนักงานเก็บค่าโดยสาร และลดการสูญเสียจากการเก็บค่าโดยสารไม่ทั่วถึง
- สามารถช่วยผู้ประกอบการจัดตารางเดินรถอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับความต้องการในการเดินทางในแต่ละช่วงเวลา และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินรถ
- สามารถลดปัญหาเดินรถเที่ยวเปล่า และป้องกันความคับคั่งของผู้โดยสารบนรถ ทำให้คุณภาพในการบริการดียิ่งขึ้น อันเป็นการสร้างความน่าเชื่อถือในการให้บริการ

<u>ผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง</u>

- ได้รับความสะดวกสบายในการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางมากขึ้น
- สามารถทราบกำหนดการเดินรถโดยสาร ช่วยลดระยะเวลารอคอยที่ป้ายลงได้

<u>ภาครัฐ</u>

- สามารถนำผลการศึกษานี้ ไปปรับใช้สำหรับให้ความสนับสนุน หรือกำหนดเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบรถโดยสารประจำทางของแต่ละจังหวัดให้มีประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือในการให้บริการมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้ประชาชนหันมาใช้ระบบรถโดยสารสาธารณะ อันเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายในการเดินทางซึ่งนับวันจะเพิ่มสูงขึ้นมาก จากอัตราค่าน้ำมันที่สูงขึ้น
- เป็นการสนับสนุนให้เกิดการศึกษาต่อในด้านการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี การระบุลักษณะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ให้แพร่หลายและกว้างขวางมากขึ้น อันเป็นการสร้างความน่าสนใจในทางธุรกิจ ทั้งต่อผู้พัฒนาระบบ ผู้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงผู้พัฒนาโปรแกรม เป็นต้น

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนแนวความคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัย อันจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญ ที่ทำให้เกิดความเข้าใจในหัวข้อหรือประเด็นต่างๆ ของการศึกษา โดยมีลำดับหัวข้อของการนำเสนอเรียงตามลำดับต่อไปนี้

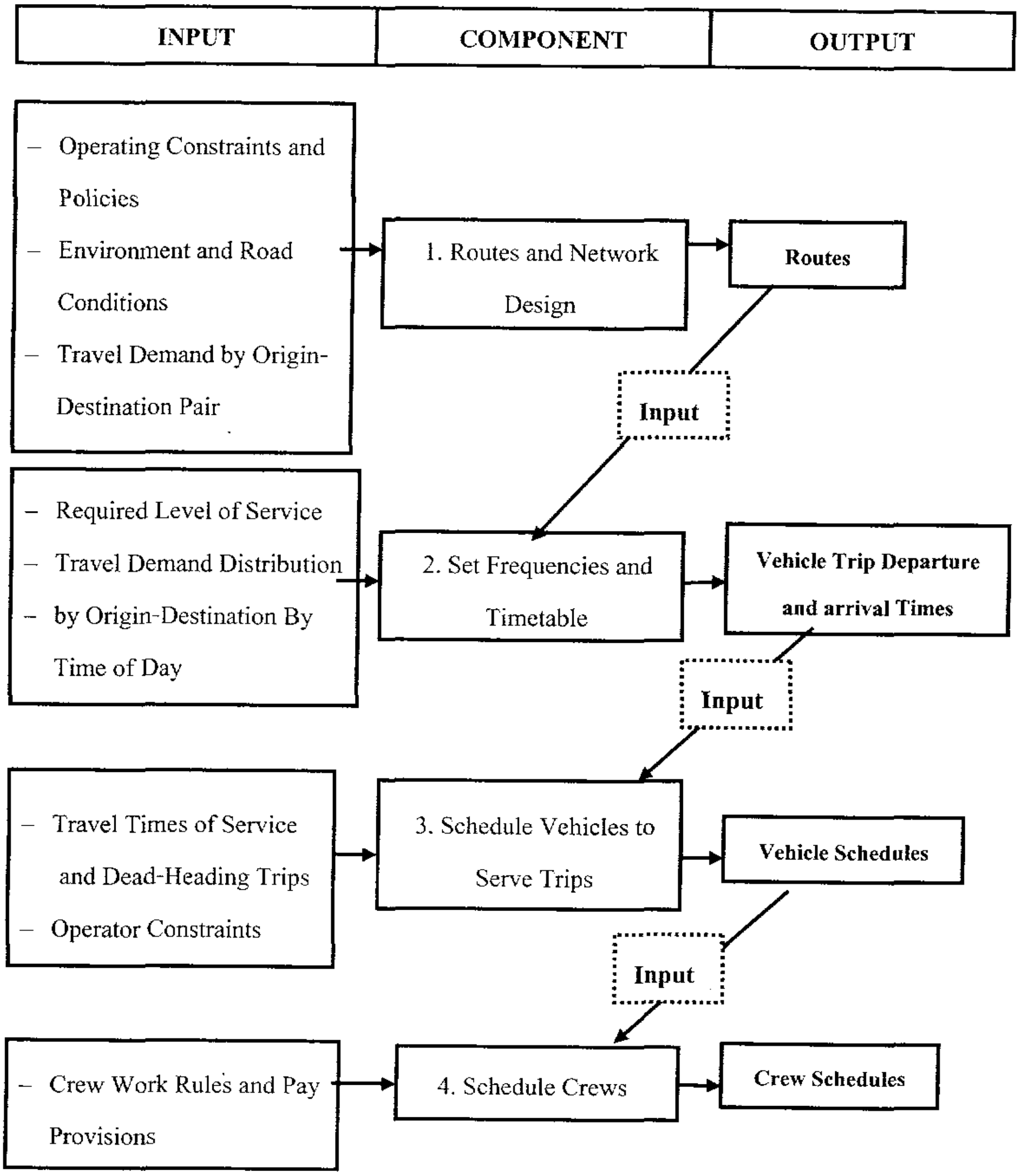
- การบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะ
- คุณภาพการให้บริการของรถโดยสารสาธารณะ
- การปรับปรุงคุณภาพการบริการด้านความน่าเชื่อถือ
- ผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนตารางเวลาเดินรถโดยสารประจำทาง
- โครงสร้างต้นทุนในการประกอบกิจการเดินรถโดยสารประจำทาง
- ระบบเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ
- ระบบบ่งชี้อัตโนมัติด้วยคลื่นความถี่วิทยุ และการประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ

2.1 การบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะ

Ceder และ Wilson [1] ได้ระบุถึงกระบวนการบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะไว้ ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบที่สำคัญคือ (1) การออกแบบเส้นทาง และโครงข่าย (2) การจัดความถี่หรือระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ (3) การกำหนดตารางเดินรถในแต่ละเที่ยว และ (4) การกำหนดตารางเวลาปฏิบัติงานของพนักงานเดินรถ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 กระบวนการบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะ โดยมีรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบดังนี้

1. การออกแบบเส้นทางและโครงข่าย (Route and Network Design) จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐานในหลายด้าน เช่น ข้อกำหนด กฎหมาย สภาพของถนน ความต้องการในการเดินทาง

2. การจัดความถี่หรือตารางเดินรถ (Set Frequencies and Timetable) คือการกำหนดความถี่ของการเดินรถ หรือการจัดระยะห่างของการปล่อยรถของแต่ละเส้นทาง ให้ตรงกับจำนวนผู้โดยสารที่มีความต้องการเดินทาง ซึ่งอยู่ภายใต้ในการดำเนินการของนักวางแผน Giannacopoulos [2] ได้ระบุไว้ว่าการจัดทำตารางเวลานั้นควรมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ตามการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้โดยสารในระบบโดยทั่วไปจะปรับเปลี่ยน 2 ครั้งต่อปี



รูปที่ 2.1 กระบวนการบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะ (Ceder และ Wilson, 1997)

3. การกำหนดเวลาเดินรถแต่ละคัน (Vehicle Scheduling) วัตถุประสงค์หลักของการกำหนดเวลาเดินรถแต่ละคันนั้น ต้องการบริหารการเดินรถให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ใช้รถจำนวนน้อยที่สุด ซึ่งอาจมีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทางในชั่วโมงคับคั่ง (Peak Hours) โดยอาศัยข้อมูลของตารางเดินรถในแต่ละเส้นทาง ระยะเวลาเดินรถในแต่ละเส้นทาง หรือระยะห่างระหว่างเส้นทาง (Dead - Heading Trips) รวมถึงเวลาสำหรับเติมน้ำมัน การซ่อมบำรุง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีเป้าหมายให้รถแต่

ละคันสามารถวิ่งบนเส้นทาง จากจุดเริ่มต้นถึงสถานีปลายทางได้ตรงตามตารางเดินรถ (Timetable) ที่กำหนดไว้

4. การจัดตารางปฏิบัติงานของพนักงาน (Crew Scheduling) เป็นการจัดการเกี่ยวกับชั่วโมงปฏิบัติงานของพนักงาน ระยะเวลาพักในระหว่างชั่วโมงปฏิบัติงานของพนักงานแต่ละคน ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการเดินรถในการบริหารทรัพยากรบุคคลให้เกิดประสิทธิภาพ และเกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด

2.2 คุณภาพการให้บริการของรถโดยสารประจำทาง

Transportation Research Board [2] ได้ให้ความหมายของคุณภาพในการให้บริการตามความรู้สึกของผู้ใช้บริการที่จะนำไปสู่การตัดสินใจใช้หรือไม่ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ (1) ประเมินตามเวลาหรือสถานการณ์ที่จะเดินทาง ว่าระบบขนส่งสาธารณะมีให้ใช้หรือไม่ (Transit Availability) และ (2) เปรียบเทียบความสะดวกสบายระหว่างรูปแบบการเดินทางชนิดอื่น (Transit Quality) ซึ่งเหตุผลในการตัดสินใจเลือกใช้บริการรถโดยสารประจำทาง ขึ้นอยู่กับลักษณะการเดินทางและความพอใจของผู้โดยสารแต่ละคน โดยมีกระบวนการและรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ความพร้อมในการเดินทางที่รถโดยสารประจำทางมีให้ (Transit Availability)

รถโดยสารประจำทางจะมีความแตกต่างจากการเดินทางด้วยรถส่วนตัว ไม่สามารถให้บริการแบบ Door to Door ได้ การตัดสินใจเลือกใช้ระบบรถโดยสารจึงขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่ผ่านการประเมินโดยผู้เดินทางดังต่อไปนี้

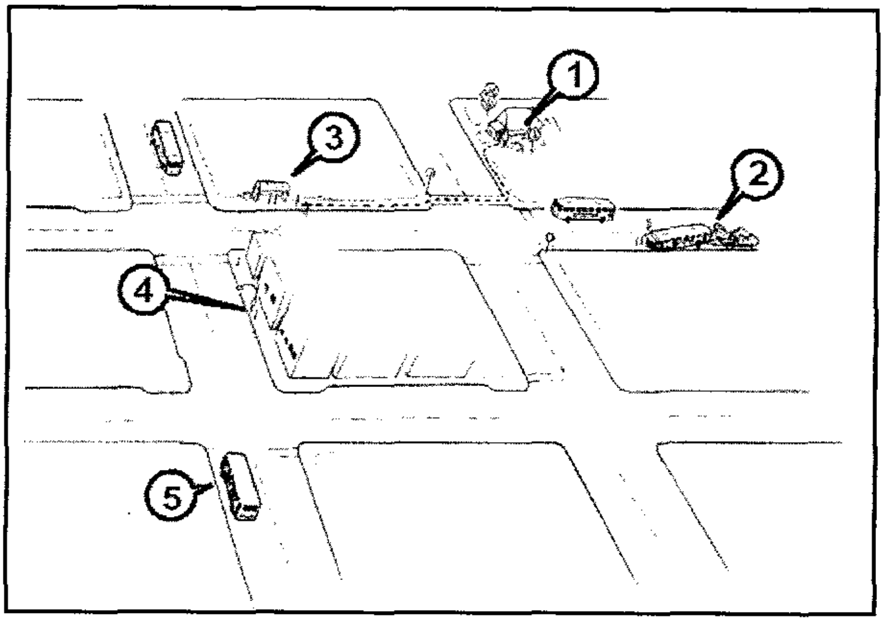
- มีรถโดยสารประจำทางให้บริการอยู่ใกล้กับจุดเริ่มต้นของการเดินทาง (Transit must be provided near one's trip origin.)
- มีรถโดยสารประจำทางให้บริการใกล้กับจุดหมายปลายทาง (Transit must be provided near one's destination.)
- มีรถโดยสารประจำทางให้บริการในเวลาหรือใกล้เคียงกับเวลาที่ต้องการเดินทาง (Transit must be provided at or near the time required.)
- ผู้โดยสารสามารถทราบข้อมูล เรื่องเวลา หรือสถานที่ในการใช้บริการรถโดยสารประจำทางได้ (Passenger must be able to find information on when and where transit service is provided and how to used transit.)

- รถโดยสารประจำทางมีที่ว่างพอเพียงที่จะรับผู้โดยสารที่ยืนรอเพิ่มในขณะนั้น (Sufficient capacity must be provided.)

ซึ่งทั้งหมดเป็นเงื่อนไขสำคัญสำหรับผู้ใช้บริการที่จะตัดสินใจใช้หรือไม่ใช้ รถโดยสารประจำทาง ทั้งนี้ยังขึ้นกับเหตุผลในเรื่องคุณภาพการบริการที่ใช้เปรียบเทียบกรณีที่มีการแข่งขันกันระหว่างรถบริการสาธารณะชนิดอื่น

2.2.2 คุณภาพการบริการ (Transit Quality)

คำถาม หรือน้ำหนักในการตัดสินใจเลือกใช้รถโดยสารประจำทางหรือไม่นั้น แตกต่างจากคำถามของความมีพร้อมของระบบอย่างสิ้นเชิง แต่เป็นการตัดสินใจเนื่องจากความสะดวกที่จะได้รับจากการใช้บริการ สามารถอธิบายถึงกระบวนการคิดของผู้โดยสารได้ดังรูปที่ 2.2 เริ่มจาก (1) การประเมินระยะทางที่ต้องเดินมายังป้ายหยุดรถโดยสาร ต่อจากนั้นก็พิจารณาถึง (2) ความตรงต่อเวลาของรถโดยสารที่จะมาถึงป้าย (3) ระยะเวลาที่ต้องใช้สำหรับรอรถ หรือ (4) ความปลอดภัยระหว่างรอรถที่ป้าย และสิ่งอำนวยความสะดวก เช่นหลังคากันแดด กันฝน แม้กระทั่งเมื่อโดยสารไปบนรถแล้วก็ยังพิจารณาถึง (5) ความสะดวกสบายในตัวรถ ที่นั่ง ความเย็นสบายของห้องโดยสาร ความแออัดของผู้โดยสาร เป็นต้น ยังมีอีกหลายประเด็นที่ผู้ตัดสินใจให้ความสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นค่าโดยสาร ระยะเวลาเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง จำนวนครั้งที่ต้องสับเปลี่ยนรถ ซึ่งผู้ตัดสินใจจะนำประเด็นเหล่านี้ไปเปรียบเทียบระหว่างการเดินทางด้วยรูปแบบอื่น



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการตัดสินใจใช้บริการรถโดยสารประจำทาง

การประเมินคุณภาพการบริการในเชิงปริมาณนั้น จะพิจารณาตามความพร้อมของระบบที่มีให้และความสะดวกสบายที่ได้รับ สามารถแบ่งออกเป็น 6 ระดับ โดยใช้อักษร A-F เรียงตามลำดับ ดัชนีที่นิยมใช้สำหรับการประเมินคุณภาพการบริการ คือ ความแออัดของผู้โดยสาร (Passenger Load) โดยทั่วไปจะประเมินอยู่ในรูปของสัดส่วนของจำนวนผู้โดยสารเทียบกับจำนวนที่นั่งบนตัวรถ ระดับการบริการได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ในมุมมองของผู้ประกอบการหากการประเมินคุณภาพด้านความแออัดแล้วอยู่ในระดับการบริการที่แย่ แสดงว่าจำเป็นต้องเพิ่มความถี่ในการให้บริการ หรือเพิ่มขนาดความจุของตัวรถเพื่อลดความแออัดของผู้โดยสารลง และยังชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาหยุดรถที่บริเวณป้าย (Dwell Time) จะต้องใช้เวลานานขึ้น เพราะผู้โดยสารมีความลำบากในการขึ้นลงรถโดยสาร ผลทำให้เวลาในการเข้าออกจากป้ายนั้นอาจคลาดเคลื่อนไป

ตารางที่ 2.1 ระดับการบริการด้านความแออัด (Passenger Load LOS)

LOS	Passenger/Seat		Comments
	Bus	Rail	
A	0.0 - 0.50	1.0 - 0.50	No passenger need sit next to another
B	0.51 – 0.75	0.51 – 0.75	Passengers can choose where to sit
C	0.76 – 1.00	0.76 – 1.00	All passengers can sit
D	1.01 – 1.25	1.01 – 2.00	Comfortable standee load for design
E	1.26 – 1.50	2.01 – 3.00	Maximum schedule load
F	>1.50	>3.00	Crush loads

ที่มา: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 1999

จากตารางที่ 2.1 คุณภาพการบริการระดับ A หมายถึงผู้โดยสารมีความสามารถที่จะเลือกที่นั่ง และวางสิ่งของสัมภาระต่างๆ ได้ตามสบาย ส่วนระดับ B หมายถึง จำนวนที่นั่งถูกจับจองโดยผู้โดยสารที่นั่งมาก่อนหน้า ผู้โดยสารที่ขึ้นมาใหม่ไม่สามารถเลือกที่นั่งได้ตามใจ เมื่อถึงระดับ C นั้นเริ่มมีความแออัดเกิดขึ้นการเลือกที่นั่งไม่สามารถทำได้ และระดับ D ผู้โดยสารที่ขึ้นมาต้องยืน และระดับ E จำนวนผู้โดยสารที่ยังอยู่ในเกณฑ์ความจุที่ออกแบบไว้ หากมีจำนวนผู้โดยสารมากกว่านี้จะเกิดการแออัดเบียดเสียดกันของผู้โดยสาร อยู่ในระดับ F

สำหรับการประเมินคุณภาพการบริการด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability) ซึ่งจะประเมินจากความตรงต่อเวลาของเที่ยวเดินรถโดยสารที่เข้าถึงป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสารตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ หากรถโดยสารประจำทางมาถึงป้ายช้ากว่าตารางเวลามากกว่า 5 นาที จะถือว่าการเดินรถในเที่ยวนั้นสายกว่าที่กำหนดไว้ โดยการแบ่งระดับของคุณภาพการบริการสำหรับความน่าเชื่อถือนั้นแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยระดับ A และ B นั้นผู้โดยสารจะไม่เคยประสบกับความล่าช้าของเที่ยวรถโดยสารเลย สามารถมั่นใจได้ว่ารถโดยสารจะมาตรงต่อเวลา หากประเมินแล้วอยู่ในระดับ C ผู้โดยสารที่ต้องต่อรถ จะเริ่มมีความกังวลว่าจะไม่สามารถไปได้ตรงตามเวลา ส่วนระดับ D และ E นั้นหมายความว่ารถโดยสารอาจจะมาถึงป้ายก่อนหรือหลัง ไม่ตรงตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ ส่วนระดับ F นั้นจะมีจำนวนเที่ยวเดินรถที่ไม่ตรงเวลาจนทำให้ผู้โดยสารไม่สามารถไว้ใจในเวลาเดินรถที่กำหนดไว้ได้

ตารางที่ 2.2 ระดับการบริการด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability LOS)

LOS	On-Time Percentage	Comments
A	97.5 – 100.0%	1 late transit vehicle per month
B	95.0 – 97.4%	2 late transit vehicle per month
C	90.0 – 94.9%	1 late transit vehicle per week
D	85.0 – 89.9%	
E	80.0 – 84.9%	1 late transit vehicle per direction per week
F	<80%	

ที่มา: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 1999

และดัชนีที่ใช้สำหรับการประเมินคุณภาพการบริการของระบบการเดินรถ (System) คือ ระยะเวลาเดินทางเมื่อใช้รถโดยสารประจำทางเปรียบเทียบกับ ระยะเวลาเดินทางเมื่อใช้รถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับการเดินทางจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง โดยคิดตั้งแต่ระยะเวลาเดินจากจุดเริ่มต้นเพื่อไปขึ้นรถโดยสารประจำทาง ระยะเวลารอรถ ระยะเวลาที่โดยสารบนรถ และระยะเวลาเดินไปยังปลายทางรวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการต่อรถ เทียบกับระยะเวลาที่ใช้รถยนต์ส่วนตัวเดินทาง หากการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางนั้นมีระยะเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาที่ใช้ในการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัวนั้น ถือว่าคุณภาพของระบบการเดินรถอยู่ในระดับ A หากมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 15 นาทีจัดว่าอยู่ในระดับ B และจะเริ่มมีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้หากต้องใช้เวลาในการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางมากกว่ารถยนต์ส่วนตัว 15 ถึง 30 นาที ซึ่งมี LOS เท่ากับระดับ C สำหรับการ

เดินทางในเมืองเล็ก ๆ มีโอกาสสูงที่จะมีความแตกต่างของระยะเวลาเดินทางได้มากกว่า 30 นาที ซึ่งอยู่ในระดับ D และ E โดยความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางนั้น จะขึ้นอยู่กับระยะทางเดินรถและระยะเวลารอคอยรถเป็นสำคัญ

ในอดีตที่ผ่านมา มีผลงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่มีเนื้อหากล่าวถึงเรื่องของคุณภาพและประสิทธิภาพการให้บริการของระบบขนส่งสาธารณะ ไม่ว่าจะเป็นผลงานวิจัยของต่างประเทศ หรือภายในประเทศก็ดี มีทั้งที่กล่าวถึงเรื่องคุณภาพและประสิทธิภาพในภาพรวม คือจะกล่าวถึงปัจจัยทุกด้านที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการให้บริการ และงานวิจัยอีกประเภทหนึ่งที่มุ่งประเด็นไปที่ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยเฉพาะ ยกตัวอย่างเช่น โครงการการศึกษาการขนส่งมวลชนของบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย [4] ได้มีการสำรวจทัศนคติและความต้องการเดินทางด้วยระบบขนส่งมวลชน ในปี ค.ศ.1999 จากกลุ่มตัวอย่าง 356 ราย ซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้จักรยานยนต์ รถยนต์ และบริการขนส่งมวลชน ได้ตอบคำถามเพื่อการกำหนดคุณลักษณะของการเดินทางซึ่งพวกเขาเห็นว่ามีความสำคัญ พบว่า ผู้ใช้บริการขนส่งมวลชนให้ความสำคัญในเรื่องความน่าเชื่อถือในบริการ โดยร้อยละ 70 ตอบว่าสำคัญมาก รองลงมาคือเรื่องอุบัติเหตุและความปลอดภัยส่วนบุคคล ซึ่งมีความสำคัญมากกว่า อัตราค่าโดยสาร และระยะเวลาเดินทางโดยรวม

ดังนั้นปัจจัยที่มักถูกนำมาเป็นประเด็นของการตรวจสอบคุณภาพการให้บริการมากที่สุดนั้น จะเกี่ยวข้องกับ ปัจจัยความน่าเชื่อถือของการให้บริการ (Reliability of Service) ชรัด พิริยะวัฒน์ [5] ได้สรุปงานวิจัยต่างๆ ที่ให้ความสำคัญกับความน่าเชื่อถือของการให้บริการในการจัดบริการรถโดยสารประจำทาง และอธิบายคำจำกัดความของความน่าเชื่อถือไว้ดังนี้

ความน่าเชื่อถือของการให้บริการในมุมมองของผู้ประกอบการ หมายถึง ความพร้อมในการดำเนินงาน โดยมีการสำรองของ รถโดยสาร เครื่องยนต์ พนักงานประจำรถ และเวลา ที่จะทำให้สามารถเดินรถโดยสารได้เที่ยงตรงตามตารางเวลาที่กำหนดไว้

ความน่าเชื่อถือของการให้บริการในมุมมองของผู้โดยสาร หมายถึง การตรงต่อเวลา (Punctuality) ของรถโดยสารประจำทาง ทั้งกำหนดเวลาที่จะมาถึงป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง และกำหนดเวลาเดินทางถึงจุดหมายปลายทาง การขาดความน่าเชื่อถือของการให้บริการจะมีผลกระทบไปถึงการรอคอยรถโดยสารที่ป้ายหยุดรถ (Waiting Time) ระยะเวลาการเดินทาง (Journey Time) และแผนการต่อรถ (Planning of Transfer at the Terminals)

2.3 การปรับปรุงคุณภาพด้านความน่าเชื่อถือ

ความน่าเชื่อถือของการให้บริการ หมายถึง การจัดบริการขนส่งสาธารณะที่สามารถทำให้ผู้ใช้บริการมีความรู้สึกมั่นใจได้ว่ารถโดยสารประจำทางที่รอใช้บริการอยู่นั้นจะมาถึงป้าย (หรือสถานี) ตรงตามตารางการเดินรถ หรือตรงตามตารางเวลาที่ได้ระบุไว้ล่วงหน้า

ดังนั้นในหัวข้อนี้ จะได้นำเสนอแนวทางและวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาและปรับปรุงคุณภาพการบริการรถโดยสารประจำทาง ซึ่ง Transportation Research Board [6] ได้เสนอแนะวิธีการปรับปรุงคุณภาพการบริการด้านความน่าเชื่อถือ สำหรับผู้ประกอบกิจการเดินรถโดยสารประจำทางนำไปปฏิบัติ ด้วยวิธีการ ดังต่อไปนี้

1. ยานพาหนะ อุปกรณ์ภายในและภายนอกตัวรถ และเครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต้องได้รับการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ จัดเตรียมรถสำรองให้เพียงพอกับความต้องการ และมีการวางแผนการเกี่ยวกับการนำรถรุ่นใหม่ๆ มาใช้แทนที่รถเก่าอย่างเหมาะสม
2. ปฏิบัติตามแนวทางหรือนโยบายที่ได้มีการวางแผนไว้อย่างรัดกุม ในเรื่องการว่าจ้างพนักงาน มีการฝึกอบรมพนักงานขับรถและทีมงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการนำกลยุทธ์ต่างๆ มาใช้เพื่อกระตุ้นการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงาน
3. ทำการวางแผนและบริหารจัดการเดินรถให้รัดกุม การจัดตารางเวลาเดินรถจะต้องสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ทั้งในเรื่องของพฤติกรรมผู้โดยสาร และลักษณะของการจราจรในเส้นทางเดินรถ เพื่อให้สามารถนำไปดำเนินการได้จริงและมีประสิทธิภาพ
4. พัฒนาระบบการสื่อสารภายในองค์กร และระหว่างองค์กรกับผู้ใช้บริการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพการบริการของรถโดยสารประจำทางแล้ว สิ่งที่ขาดเสียมิได้คือ ทำอย่างไรที่ผู้โดยสาร หรือประชาชนทั่วไปจะสามารถรับรู้และเข้าใจถึงความเปลี่ยนแปลงการบริการ ที่ผู้ให้บริการได้จัดเตรียมไว้ให้ โดยการสื่อสารไปสู่ผู้โดยสารหรือกลุ่มที่ไม่ได้ใช้บริการ ควรอยู่ในรูปแบบที่คนส่วนใหญ่ในสังคมสามารถที่จะรับรู้และทำความเข้าใจได้โดยง่ายและรวดเร็ว ซึ่งการศึกษานี้ขอยกตัวอย่างวิธีการที่ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับรู้และเข้าใจให้กับผู้บริการดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมเอกสารหรือสิ่งตีพิมพ์ไว้สำหรับบริการในเรื่องของข้อมูลต่างๆ ให้กับผู้โดยสาร ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง เช่น ตารางเดินรถ อัตราค่าโดยสาร เส้นทางเดินรถ เป็นต้น หรือข่าวและกิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทั่วไปได้รับรู้ ข้อมูลเหล่านี้ต้อง

ทันต่อเหตุการณ์ อยู่ในรูปแบบที่สามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่าย และจัดวางไว้ในตำแหน่งหรือสถานที่ที่สะดวกและเหมาะสมต่อการนำเอกสารข้อมูลดังกล่าวไปใช้

2. *จัดเตรียมระบบฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถให้บริการผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ*ได้ เนื่องจากปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยรูปแบบอื่นๆ เข้ามาใช้งานร่วมกับการขนส่งสาธารณะเพิ่มขึ้น หน่วยงานขนส่งควรเตรียมระบบฐานข้อมูลให้พร้อมสำหรับการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการให้บริการข้อมูลข่าวสารต่างๆ แก่ผู้โดยสาร

3. จัดให้มีการประชุมหรือสัมมนาร่วมกัน ระหว่างตัวแทนกลุ่มผู้ประกอบการเดินรถ และผู้ใช้บริการอย่างสม่ำเสมอ วิธีการดังกล่าวเป็นการเปิดโอกาสให้หน่วยงานขนส่งสามารถสื่อสารและประชาสัมพันธ์ข้อมูลต่างๆ ไปยังผู้ใช้บริการโดยสาร และยังทำให้ผู้ใช้บริการเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นด้วย

2.4 ผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนตารางเวลาเดินรถโดยสารประจำทาง

จากการทบทวนในหัวข้อการปรับปรุงคุณภาพการบริการในด้านความน่าเชื่อถือนั้นทำให้ทราบได้ว่า วัตถุประสงค์ของการจัดตารางเวลาก็คือ การปรับเปลี่ยนการบริการของผู้ประกอบ การเดินรถโดยสารสาธารณะเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการให้บริการดีขึ้น โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อให้ต้นทุนที่ใช้กับคุณภาพของบริการนั้นมีความสมดุลกัน โดยอาศัยหลักการจัดสรรความจุของระบบที่มีอยู่ให้เหมาะสมกับความต้องการในการเดินทางของประชาชน

ดังนั้นผลกระทบผู้ใช้บริการที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนความถี่หรือตารางเวลาเดินรถโดยสารประจำทางก็ย่อมแตกต่างกันตามรูปแบบของการปรับเปลี่ยนบริการ Holland [7] ได้สรุปข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการปรับความถี่ในการให้บริการ ไว้ว่า โดยปกติการเพิ่มขึ้นของจำนวนเที่ยวเดินรถจะทำให้จำนวนผู้โดยสารนั้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ก็ยังมีข้อถกเถียงอื่นในแง่ของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้โดยสารกับจำนวนเที่ยวที่สำรวจได้ จึงได้มีการสำรวจปัจจัยที่ทำให้ผู้โดยสารเพิ่มขึ้นในแง่ของคุณภาพในการให้บริการ ผลคือ จำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากผู้โดยสารในเส้นทางอื่น (Route Choice) เปลี่ยนมาใช้บริการในเส้นทางที่ได้มีการปรับเพิ่มจำนวนเที่ยว ซึ่งไม่ใช่ผู้โดยสารที่มาจากการเปลี่ยนรูปแบบของการเดินทาง (Mode Choice) นั่นคือ การปรับความถี่ในการให้บริการเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถดึงดูดให้ผู้เดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัว หรือระบบขนส่งสาธารณะอื่นๆ เปลี่ยนมาใช้บริการนี้ได้ ยกตัวอย่างเช่น เมือง Los Angeles ปี ค.ศ.1998 [8] ได้ทำการปรับปรุงความถี่ในการให้บริการของรถโดยสารประจำทาง Big Blue Bus Line เส้นทางสาย Lincoln Boulevard Route ที่เชื่อมต่อระหว่าง Los Angeles International Airport สู่ตัวเมือง Santa Monica ในระหว่างเวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. โดยปรับระยะห่างของรถแต่ละคันจากเดิม 20 นาที เป็น 10 นาที เท่ากันตลอดช่วงเวลาให้บริการ จากเดิมก่อนทำการปรับปรุงจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการต่อชั่วโมงสูงสุดมีค่า

เท่ากับ 66.1 คนต่อชั่วโมง ภายหลังทำการปรับปรุง 5 เดือน สถิติจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการต่อชั่วโมงเฉลี่ยมีค่า เท่ากับ 64.5 ซึ่งมีค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ +0.97 โดยจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากผู้โดยสารรถประจำทางในสาย Green Line และกลุ่มผู้โดยสารใหม่ที่สนใจเดินทางด้วยรถประจำทางจากสนามบินสู่ตัวเมือง Santa Monica และพื้นที่ใกล้เคียงเส้นทาง ทำให้รถสาย Lincoln Boulevard ได้กำไรเพิ่มมากขึ้นจากการปรับปรุงความถี่ในการให้บริการ และอีกตัวอย่างของการปรับเพิ่มความถี่ของการให้บริการรถโดยสารประจำทางของเมือง Charlottesville, Virginia [9] ที่ปรับเพิ่มความถี่ในการเดินรถ 2 เท่าของความถี่เดิมในชั่วโมงคับคั่ง ของเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทาง 2 สาย ทำให้ระยะทางบริการเดินรถโดยรวมเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 10 เป็นระยะเวลา 1 ปี การสำรวจพบว่ามีจำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นสูงที่สุดร้อยละ 28.9 เมื่อวิเคราะห์ความยืดหยุ่นของการบริการจากระยะทางเดินรถที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าเท่ากับ +0.33 หากพิจารณาทางการตลาดจะถือว่าจำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพการบริการ ซึ่งในรายงานได้อธิบายถึง สภาพรถที่ทรุดโทรม มีอายุรถเฉลี่ย 6 ถึง 21 ปี ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่แน่นอนของการเดินรถ

2.5 โครงสร้างต้นทุนในการประกอบกิจการเดินรถโดยสารประจำทาง

ต้นทุนในการดำเนินการขนส่งโดยรถโดยสารประจำทางนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Running Cost)

ค่าใช้จ่ายคงที่ หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นประจำแม้ว่าจะไม่มีการใช้รถก็ตาม ประกอบด้วยต้นทุนในการจัดหารถโดยสารประจำทาง ค่าดอกเบี้ย ค่าภาษี ค่าประกัน ฯลฯ ซึ่งต้นทุนนี้จะถูกคำนวณเป็นรายจ่ายเฉลี่ยต่อเดือนหรือต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ หมายถึง ต้นทุนที่แปรเปลี่ยนไปตามสภาพการดำเนินการ หรือเมื่อมีการใช้งานของรถโดยสารประจำทางนั่นเอง ประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าบำรุงรักษา ค่าสึกหรอของยาง

ต้นทุนการประกอบกิจการขนส่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

- **ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง** หมายถึง ราคาของยานพาหนะรวมทั้งประสิทธิภาพของยานพาหนะ ที่มีความแตกต่างกัน เช่น การเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง การบำรุงรักษา เป็นต้น
- **ปริมาณการใช้ยานพาหนะ** หมายถึง ระยะทางในการนำรถโดยสารมาวิ่งตลอดปี ซึ่งหากนำมาใช้ขนส่งมาก ก็ส่งผลต่อต้นทุนคงที่ต่อหน่วยต่ำลง

- **สภาพการดำเนินการ** เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเปลี่ยนแปลงได้เหมือนกันขึ้นกับสภาพภูมิประเทศ ความขรุขระของผิวจราจร สภาพการจราจรติดขัด เป็นต้น

โดยปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นสามารถนำสู่กระบวนการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ถึงต้นทุนที่แท้จริงของการประกอบการเดินรถโดยสารได้ โดย Stopher [10] ได้สร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ต้นทุนของการเดินรถโดยสารประจำทาง ดังสมการที่ 2.1 โดยต้นทุนทั้งหมดสำหรับการเดินรถโดยสารประจำทางนั้น เกิดจากผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยของกิจกรรมต่างๆ คูณกับระยะทางหรือเวลาที่ใช้สำหรับทำกิจกรรมนั้น รวมกับต้นทุนคงที่อันเกิดจากการจัดหารถโดยสารและค่าใช้จ่ายในสำนักงาน

$$Cost = a_1.VMT + a_2.VHT + a_3.PKBS + a_4.PASS + FIX \qquad (2.1)$$

โดยที่ VMT = ระยะทางที่ใช้ในการเดินรถโดยสารตลอดวัน (Annual Vehicle Miles of Travel)

VHT = ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินรถโดยสารตลอดวัน (Annual Vehicle Hours of Travel)

PKBS = ระยะเวลาของชั่วโมงคับคั่งในช่วงบ่ายเฉลี่ยต่อวัน (Average p.m. Weekday Peak Bus Requirement)

PASS = จำนวนผู้โดยสารตลอดวัน (Annual Passenger Boarding)

FIX = ต้นทุนคงที่ต่อวัน (Total Annual Fixed Costs)

a_1, a_2, a_3, a_4 = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของแต่ละตัวแปร

จากงานวิจัยข้างต้นจำเป็นต้องอาศัยการเก็บข้อมูลที่มีรายละเอียดสูง ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นจะทำได้ยาก และยังมีอีกวิธีที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการเดินรถโดยสารได้เช่นเดียวกัน โดยใช้วิธีการสอบถามผู้ประกอบการถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ค่าซ่อมบำรุง ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น แล้วแปลงให้เป็นต้นทุนแปรผันต่อหน่วยระยะทางเดินรถโดยสาร ส่วนต้นทุนคงที่ ก็เช่นเดียวกัน สามารถสอบถามผู้ประกอบการถึงราคาของรถโดยสารประจำทาง ค่าภาษี ค่าดอกเบี้ย รวมถึงวิเคราะห์ค่าเสื่อมราคา รัชนี นันทวัฒนาศิริชัย [11] ได้ทำการศึกษา ถึงต้นทุนของการประกอบกิจการเดินรถโดยสารประจำทางจังหวัดพิษณุโลก ของผู้ประกอบการรายเดียว ที่มีเส้นทางให้บริการจำนวน 13 เส้นทาง ให้บริการด้วยรถโดยสารปรับอากาศขนาดกลาง 30 ที่นั่ง จำนวน 28 คัน และรถโดยสารธรรมดาจำนวน 42 คัน สรุปได้ว่า ผู้ประกอบการมีค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดหารถและค่าใช้จ่าย

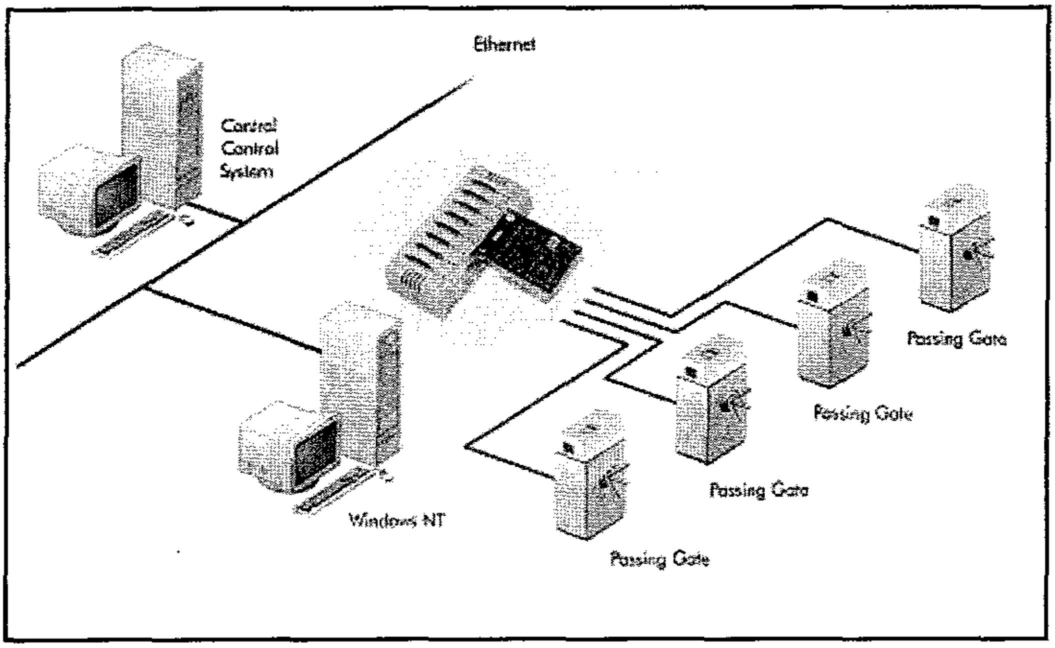
ในสำนักงานรวมกันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1,121 บาทต่อวัน ส่วนค่าใช้จ่ายแปรผันในการใช้รถโดยสารปรับอากาศและธรรมดาคิดเป็น 3.39 และ 2.80 บาทต่อคัน - กม. ตามลำดับ

2.6 ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ

ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ (Automatic Fare Collection System) นั้นมีชื่อเรียกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน อาทิเช่น ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection System) ระบบเก็บค่าโดยสารของรถไฟใต้ดิน (Automatic Subway Collection System) วัตถุประสงค์หลักของการนำระบบนี้มาใช้ คือเพื่ออำนวยความสะดวกในการชำระค่าโดยสาร ง่ายต่อการบริหารจัดการด้านการเงิน และสามารถเก็บข้อมูลปริมาณผู้โดยสารได้อย่างครบถ้วน ทั้งในเรื่องจำนวนผู้ใช้บริการต่อจุด จำนวนผู้โดยสารที่อยู่ในรูปของ คน-กิโลเมตร-เที่ยว จำนวนผู้โดยสารในชั่วโมงคับคั่ง

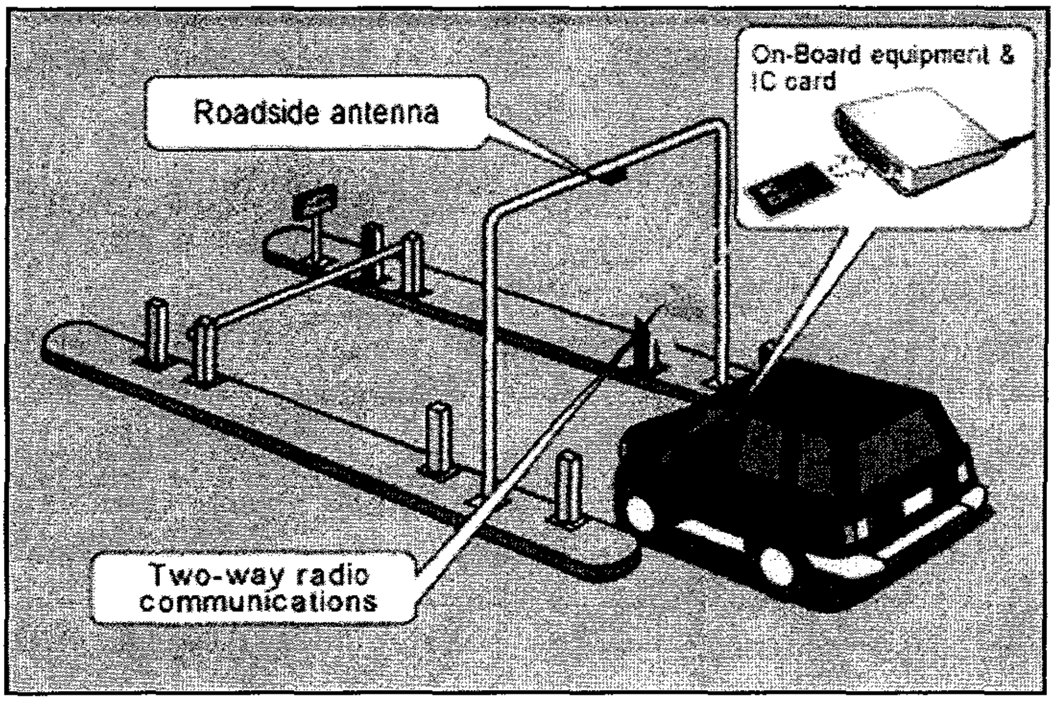
ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานทางด้านการขนส่งที่นำระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติมาใช้ เช่น ระบบรถไฟใต้ดินของไทเป ได้พัฒนาระบบที่ใช้บัตรสมาร์ตการ์ดเพียงบัตรเดียวในการชำระค่าโดยสาร ค่าจอดรถ โดยการคิดค่าโดยสารจะอาศัยเครื่องตรวจจับที่ช่องเข้า-ออก บริเวณสถานี ระบบคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลคิดค่าโดยสารจากระยะทางและหักจากบัตรอัตโนมัติเมื่อผู้โดยสารเดินทางผ่านช่องทางออก ส่วนรูปที่ 2.3 แสดงผังการทำงานของระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติของระบบรถไฟใต้ดินของกรุงโซล ซึ่งอาศัยหลักการจำหน่ายบัตรค่าโดยสารที่สถานี เมื่อผู้โดยสารนำบัตรใส่ในช่องทางเข้าระบบจะทำการบันทึก และจะประเมินผลเมื่อผู้โดยสารนำบัตรใส่ในช่องทางผ่านเมื่อถึงสถานีปลายทาง หากมีข้อมูลของสถานีตรงกับที่ได้ชำระค่าโดยสารไว้ประตูกั้นจะเปิดให้ผู้โดยสารผ่านได้ หากไม่ถูกต้องจะส่งเสียงเตือน ซึ่งระบบนี้นิยมใช้กันแพร่หลาย รวมถึงรถไฟลอยฟ้า และรถไฟใต้ดินของประเทศไทย

สำหรับระบบเก็บค่าผ่านทางด่วนนั้นจะอาศัยเทคโนโลยีที่แตกต่างจากระบบเก็บค่าโดยสารของระบบขนส่งมวลชน โดยอาศัยระบบ RFID ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุในการส่งสัญญาณข้อมูลต่างๆ จาก เครื่องส่งสัญญาณที่ติดตั้งอยู่ที่ตัวรถ (On-board equipment) ไปยังเสารับสัญญาณ (Roadside antenna) เพื่อส่งข้อมูลที่อยู่ในบัตร (IC Card) ซึ่งบรรจุข้อมูลที่จำเป็นของผู้ใช้รถสำหรับการคิดค่าผ่านทาง ส่งไปยังระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับเสารับสัญญาณเพื่อประมวลผลคิดค่าผ่านทาง ทุกครั้งเมื่อแล่นรถผ่านช่องเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติโดยที่ผู้ขับขี่ไม่ต้องหยุดชำระค่าผ่านทาง ทำให้ลดปัญหาการจราจรติดขัดได้ รูปที่ 2.4 แสดงผังการทำงานของระบบเก็บค่าผ่านทางด่วน โดยรายละเอียดในการทำงานของระบบ RFID นั้น



รูปที่ 2.3 ผังการทำงานของระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติของรถไฟใต้ดินกรุงโซล

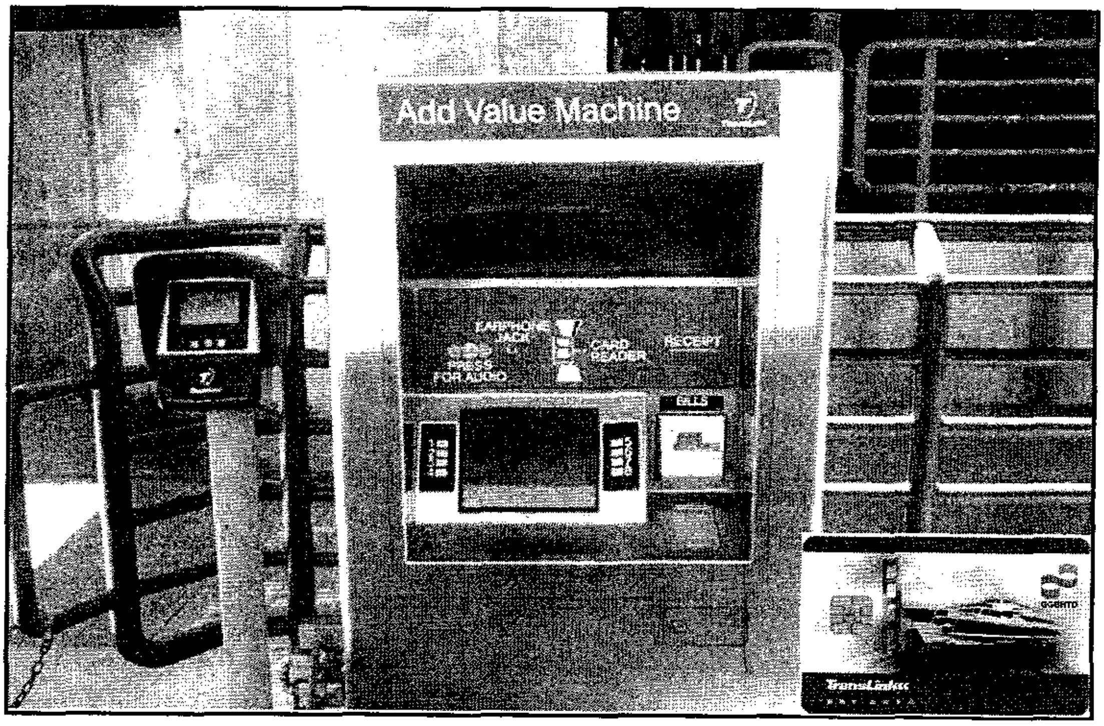
ที่มา: http://www.moxa.com/solutions/success_stories_Automatic_Subway_Ticket_Collection_System.htm



รูปที่ 2.4 ผังการทำงานของระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ

ที่มา: www.its.go.jp/etcvics/etc/index_e.html

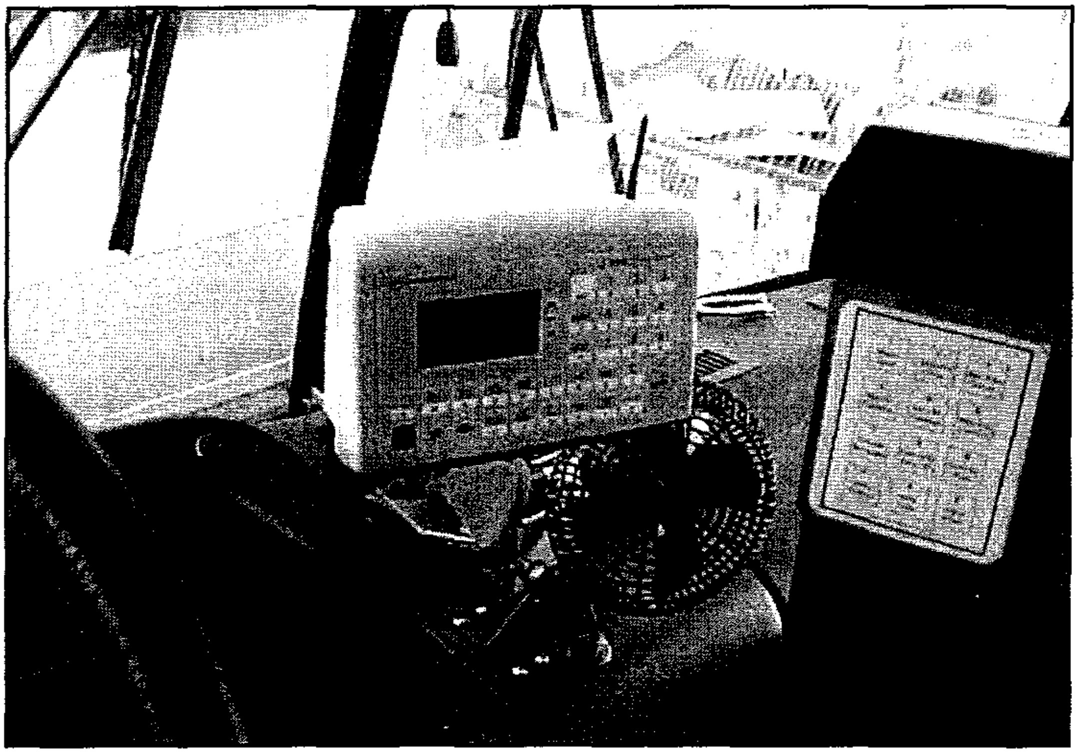
สำหรับระบบรถโดยสารประจำทางนั้นได้มีหลายประเทศนำระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติมาใช้ องค์ประกอบของระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญคือ 1) เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสาร ซึ่งผู้โดยสารสามารถซื้อบัตรโดยสารและเพิ่มเติมยอดเงินคงเหลือในบัตรโดยสารได้ด้วยตัวเอง 2) เครื่องตรวจบัตรบริเวณประตูทางขึ้นลงรถโดยสารสำหรับหักเงินค่าโดยสารออกจากบัตรโดยสารที่ผู้โดยสารถือไว้ 3) บัตรโดยสาร ซึ่งมีมากมายหลายแบบขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ เช่น เหรียญพลาสติก บัตรแถบแม่เหล็ก หรือบัตรสมาร์ตการ์ด และสุดท้าย 4) ระบบคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับทุกสถานีในการบริหารจัดการระบบการเงิน รูปที่ 2.5 – 2.7 เป็นตัวอย่างการของส่วนประกอบของระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติที่ใช้บัตรสมาร์ตการ์ด ในการชำระค่าโดยสารรถโดยสารประจำทางของ Golden Gate Transit Bus & Ferry ซึ่งเริ่มวางระบบและเปิดใช้ในปี ค.ศ.2006 ที่ผ่านมา



รูปที่ 2.5 เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติและบัตรโดยสารอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: http://goldengate.org/board/2006/Agendas/documents/Trans060209s2-Translink.pdf

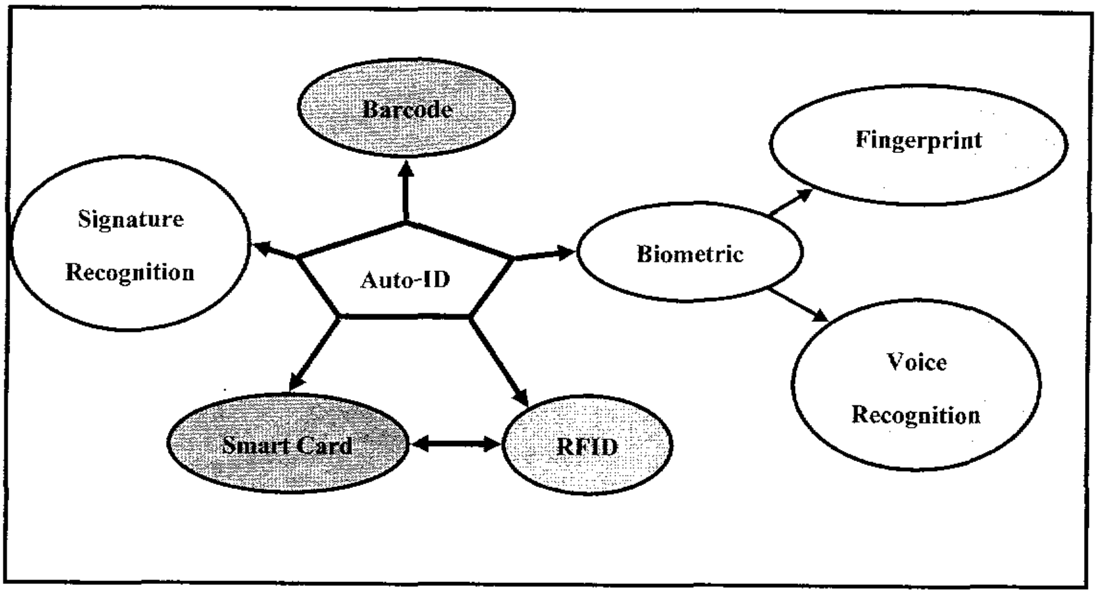
รูปที่ 2.6 เครื่องตรวจบัตรโดยสารที่ติดตั้งไว้บนรถโดยสารประจำทาง



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์เชื่อมต่อระบบบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) เพื่อใช้คำนวณค่าโดยสาร

2.7 ระบบบ่งชี้อัตโนมัติ

ในปัจจุบันระบบบ่งชี้อัตโนมัติ (Automatic Identification) คือ เทคโนโลยีที่ช่วยให้อุปกรณ์ เครื่องมือหรือเครื่องจักรสามารถบ่งบอกวัตถุ สิ่งของหรือแม้แต่คนหรือสัตว์ได้โดยอัตโนมัติ ปัจจุบัน ถูกนำมาใช้งานและพัฒนาไปอย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรม โลจิสติกส์ กระบวนการผลิต การขนถ่ายวัตถุดิบ ฯลฯ ระบบนี้จะนำมาใช้ในการจัดเก็บข้อมูล ระบุสถานะของ คน สัตว์ สิ่งของ ที่เราให้ความสนใจ ตัวอย่างของระบบบ่งชี้อัตโนมัติที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถจำแนกได้ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งได้แก่ เทคโนโลยีรหัสแท่ง (Barcode) เทคโนโลยีบัตรสมาร์ตการ์ด เทคโนโลยีด้านชีวมาตร เช่น ระบบการจดจำเสียง ระบบลายพิมพ์นิ้วมือ ระบบสแกนม่านตา เทคโนโลยีการจดจำลายมือ และเทคโนโลยีการบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ส่วนระบบบ่งชี้อัตโนมัติที่เรารู้จักกันดีคือ ระบบบาร์โค้ด (Barcode System) ซึ่งมีต้นทุนต่อหน่วยต่ำ แต่มีปัญหาระหว่างการอ่านได้ง่าย ส่วนระบบที่นิยมรองลงมาคือ ระบบสมาร์ตการ์ด (Smart Card System) เป็นระบบที่พัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของบัตรต่าง ๆ โดยใช้แถบแม่เหล็กหรือไมโครชิพในการอ่านหรือเขียนข้อมูล มีข้อดี คือสามารถเก็บข้อมูลได้มาก ปลอดภัย เนื่องจากเป็นแถบแม่เหล็กการอ่านต้องใช้วิธีสัมผัส หากใช้บ่อยครั้งจะทำให้เกิดการสึกหรอ จากข้อเสียของทั้ง 2 ระบบ จึงได้มีการนำเอา ระบบบ่งชี้อัตโนมัติที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุ เป็นพาหะในการสื่อสารข้อมูล เราเรียกว่า ระบบ RFID (Radio Frequency Identification) ซึ่งจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสมาร์ตการ์ดที่สุด คือ ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในการ์ดหรือ Tags เหมือนกัน แต่ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัด คือ การอ่านและเขียนข้อมูลสามารถทำได้โดยไม่ต้องสัมผัสเหมือนกับสมาร์ตการ์ด

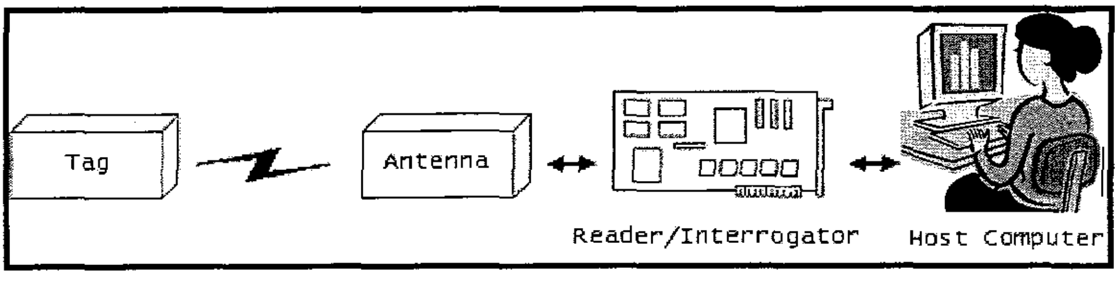


รูปที่ 2.8 ระบบบ่งชี้อัตโนมัติ (Auto-ID) ในปัจจุบัน

2.7.1 ระบบ RFID (Radio Frequency Identification System)

ในยุคแรกของการพัฒนา RFID นั้นเริ่มมาจากปี ค.ศ.1939โดย เซอร์โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ วัตสัน-วัตต์ ประเทศอังกฤษ เป็นผู้นำเรดาร์มาใช้สงครามโลกครั้งที่ 2 สำหรับตรวจจับและเตือนเครื่องบินที่กำลังเข้ามา แต่ยังไม่สามารถแยกเครื่องบินรบของข้าศึกและฝ่ายพันธมิตรได้ ทางฝั่งเยอรมันได้ค้นพบการสะท้อนของเรดาร์ที่เปลี่ยนไปเมื่อเครื่องบินหมุนตัว ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของ RFID แบบที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นวิทยุ โดยไม่ต้องมีเครื่องส่งวิทยุ (passive) จากนั้นระบบ RFID ก็ได้รับการพัฒนาเรื่อยมา จนถึงปี ค.ศ.1980 ได้พัฒนาเพื่อนำไปใช้งานทดแทนระบบบาร์โค้ด ในการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุ บอกตำแหน่ง ติดตามตรวจสอบสินค้า ป้องกันการขโมยสินค้า ในปี ค.ศ. 1990 เมืองโอกาโฮมา ประเทศญี่ปุ่นได้เปิดตัวเทคโนโลยี RFID ที่ได้พัฒนาไปสู่ระบบการเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ สำหรับถนนต้องการความเร็วในการเดินทาง โดยปราศจากช่องเก็บค่าผ่านทาง เป็นแห่งแรก หลังจากนั้นก็มีอีกหลายประเทศที่ได้นำ RFID ไปใช้ในการเก็บค่าผ่านทาง หรือชำระค่าโดยสารของรถไฟ เช่น อาร์เจนตินา มาเลเซีย บราซิล แคนาดา จีน สิงค์โปร์ และประเทศไทย

RFID ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ส่วนแรก คือ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Transponder) หรือ Tags จะเป็นส่วนของการเก็บข้อมูลและถูกติดตั้งอยู่กับวัตถุที่เราต้องการบ่งชี้ (Identify) โดยฉลากนั้นจะประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิพที่มีการบันทึกหมายเลข ID หรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ส่วนที่สอง คือ เครื่องอ่านป้ายด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Reader/Interrogator) จะประกอบด้วยภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ ส่วนควบคุมและเสาอากาศ (Antenna) ทำหน้าที่คล้องสัญญาณกับ Tags และส่วนการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก และส่วนที่สาม คือ ระบบประยุกต์ใช้งาน รวมถึงระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประยุกต์ใช้งาน หรือระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบข้อมูลสินค้า ระบบบริหารงานบุคคล เป็นต้น



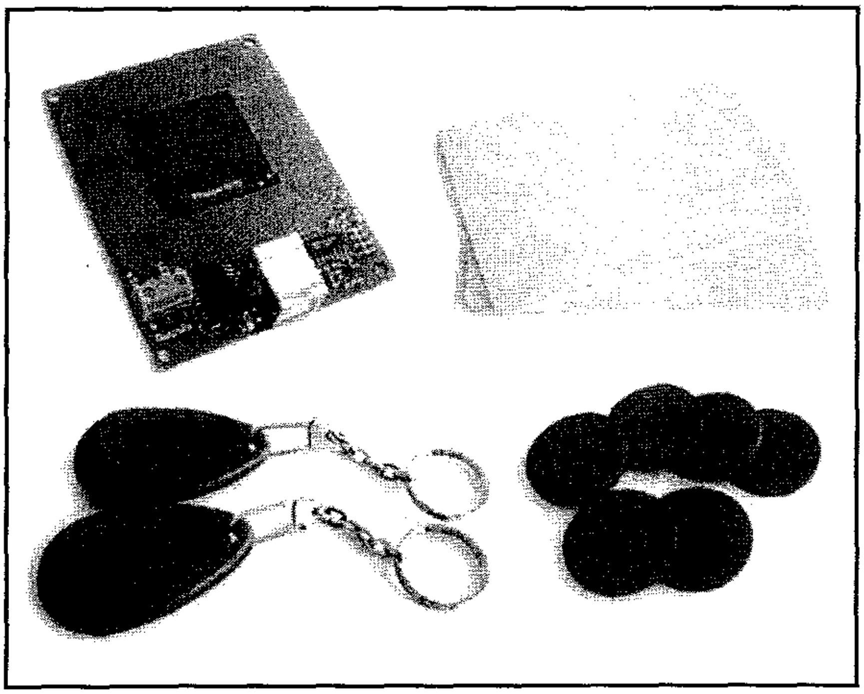
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของระบบ RFID

Tags หรือ Transponders

แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) นั่นเอง ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ แท็กก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นแบบไร้สายผ่านอากาศ ภายในแท็กจะประกอบไปด้วย ชิพสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับสายอากาศ

ชิปที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่นข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุม หรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างของ Tag ในปัจจุบัน

รูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างของแท็กในหลากหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของแท็กออกเป็น 2 ชนิด ตามโครงสร้างภายใน คือ

- **แท็กชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag)** แท็กชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายใน เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงานโดยปกติ เราจะสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กชนิดนี้ได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กตีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

- **แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)** จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายใน แต่จะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบากว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ และตัวอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวสูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาและอายุการใช้งานทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

Reader หรือ Interrogator

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กแล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสข้อมูล และนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้

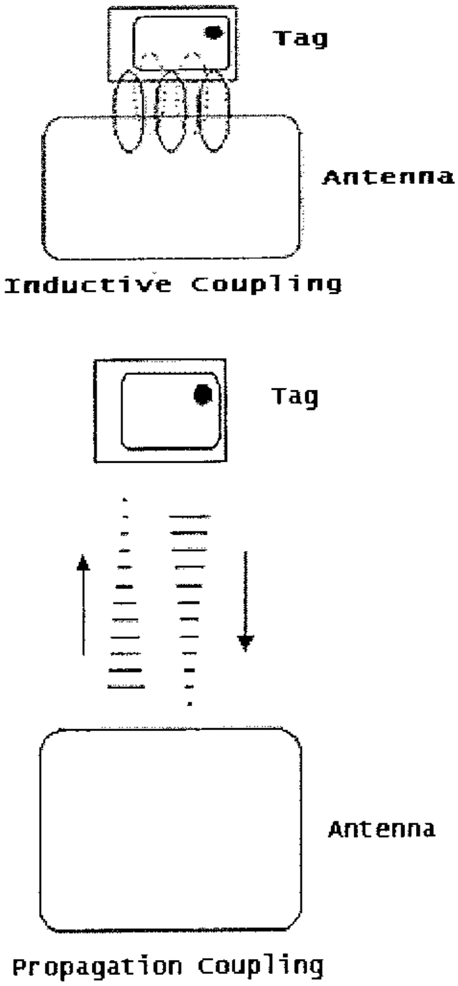
หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต
4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.7.2 การสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยี RFID

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็ก (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromegnatic Propogation Coupling) ดังรูปที่ 2.11

เทคนิคการมอดูเลตข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะก็มีด้วยกันหลายวิธี เช่น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying) ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท



รูปที่ 2.11 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กและตัวรับข้อมูล

2.7.3 ความถี่ของคลื่นพาหะ

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและอาฟริกา (Region 1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่ต่างของระบบ RFID และการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ - ต้นทุนไม่สูง - ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ - ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	- Access Control - ปศุสัตว์ - ระบบคงคลัง - รถยนต์
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานกันทั่วไปคือ 13.56 MHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง - ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต - ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง - ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	- Access Control - Smart Card
ย่านความถี่สูง 850-950 MHz 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานกันทั่วไปคือ 2.45 GHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) - ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง - ราคาแพง	- รถไฟ - ระบบเก็บค่าผ่านทาง

สำหรับประเทศไทย ทางคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) รายละเอียดอ่านได้ในภาคผนวก ก (กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับ RFID) ได้อนุมัติคลื่นความถี่ระหว่าง 920-925 เมกะเฮิรตซ์ ในการใช้งาน RFID หลังได้ทดสอบการใช้งานในช่วงคลื่นความถี่ดังกล่าว ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) และสภาอุตสาหกรรม รวมทั้งศึกษาข้อมูลจากแหล่งที่เป็นความรู้วิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศให้สามารถใช้ได้สอดคล้องกับนานาประเทศ

2.7.4 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดธ์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดธ์หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกันโดยมีหลักว่า แบนด์วิดธ์ควรจะมีค่า

มากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า แต่การใช้แบนด์วิดธ์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดธ์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.7.5 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ

ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆ รอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของแท็กที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดยทั่วๆ ไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

2.7.6 การประยุกต์ใช้ RFID ในประเทศไทย

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ RFID ในประเทศไทยที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน ได้แก่

1. ระบบเก็บค่าโดยสารของรถไฟฟ้ามหานคร ใช้ระบบตั๋ว RFID ซึ่งอยู่ในรูปบัตรเอนกประสงค์ชนิดไร้สัมผัส แบ่งเป็นบัตรโดยสารแบบเติมเงิน และเหรียญโดยสารเที่ยวเดียว ผู้โดยสารเพียงแต่นำบัตรเข้าใกล้เครื่องอ่านบัตรในระยะห่างประมาณ 1-5 เซนติเมตร ก็สามารถผ่าน

ทางเข้าออกได้ รวมทั้ง รฟม. ได้นำเอาระบบ RFID ที่เป็นบัตรเอนกประสงค์แบบไร้สัมผัส ในการควบคุมการเข้าออกและเก็บค่าที่จอดรถ สำหรับอาคารจอดรถที่สถานี ลาดพร้าวอีกด้วย

2. ระบบการตรวจสอบติดตามสินค้า โดยบริษัท Western Digital (ประเทศไทย) จำกัด ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ได้ร่วมกับกองเขตปลอดอากร (Free Zone Division) กรมศุลกากร ทำโครงการนำร่องผนึกใช้ e-seal ซึ่งเป็นป้ายแบบ RFID Active ในการปิดล็อกตู้สินค้า เพื่อเก็บข้อมูลและบันทึกความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตลอดเส้นทางการขนส่ง

3. โครงการนำร่องยกระดับท่าเรือแหลมฉบังให้เป็นท่าขนส่งอิเล็กทรอนิกส์ หรือ e-port ซึ่งจะมีการพัฒนาระบบแลกเปลี่ยนข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัยยิ่งขึ้นและทดลองใช้ระบบ e-seal และระบบ e-toll ในการเก็บเงินค่ารถบรรทุกผ่านท่า อีกด้วย

บทที่ 3

แนวทางการออกแบบ

บทนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดในการออกแบบระบบการเก็บข้อมูลผู้โดยสารโดยอาศัยระบบการเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติในการบันทึกข้อมูลการขึ้น และลงของผู้โดยสาร และระบบ RFID ในการแสดงตำแหน่งของรถโดยสารที่เคลื่อนที่ผ่านจุดสำรวจ เพื่อให้ผู้บริหารหรือผู้ประกอบการได้ทราบข้อมูลอันจำเป็นต่อการวิเคราะห์การจัดเที่ยวเดินรถโดยสารต่อไป ลำดับการนำเสนอมีดังต่อไปนี้

- แนวคิดของการพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลผู้โดยสารรถโดยสารประจำทาง
- การศึกษาเส้นทางการเดินรถโดยสารประจำทางในเขตเทศบาลนคร นครราชสีมา
- การกำหนดจุดติดตั้งระบบ RFID และโครงข่ายระบบ RFID
- ข้อมูล และการประมวลผลด้วยซอฟท์แวร์

3.1 แนวคิดของการพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลผู้โดยสารรถโดยสารประจำทาง

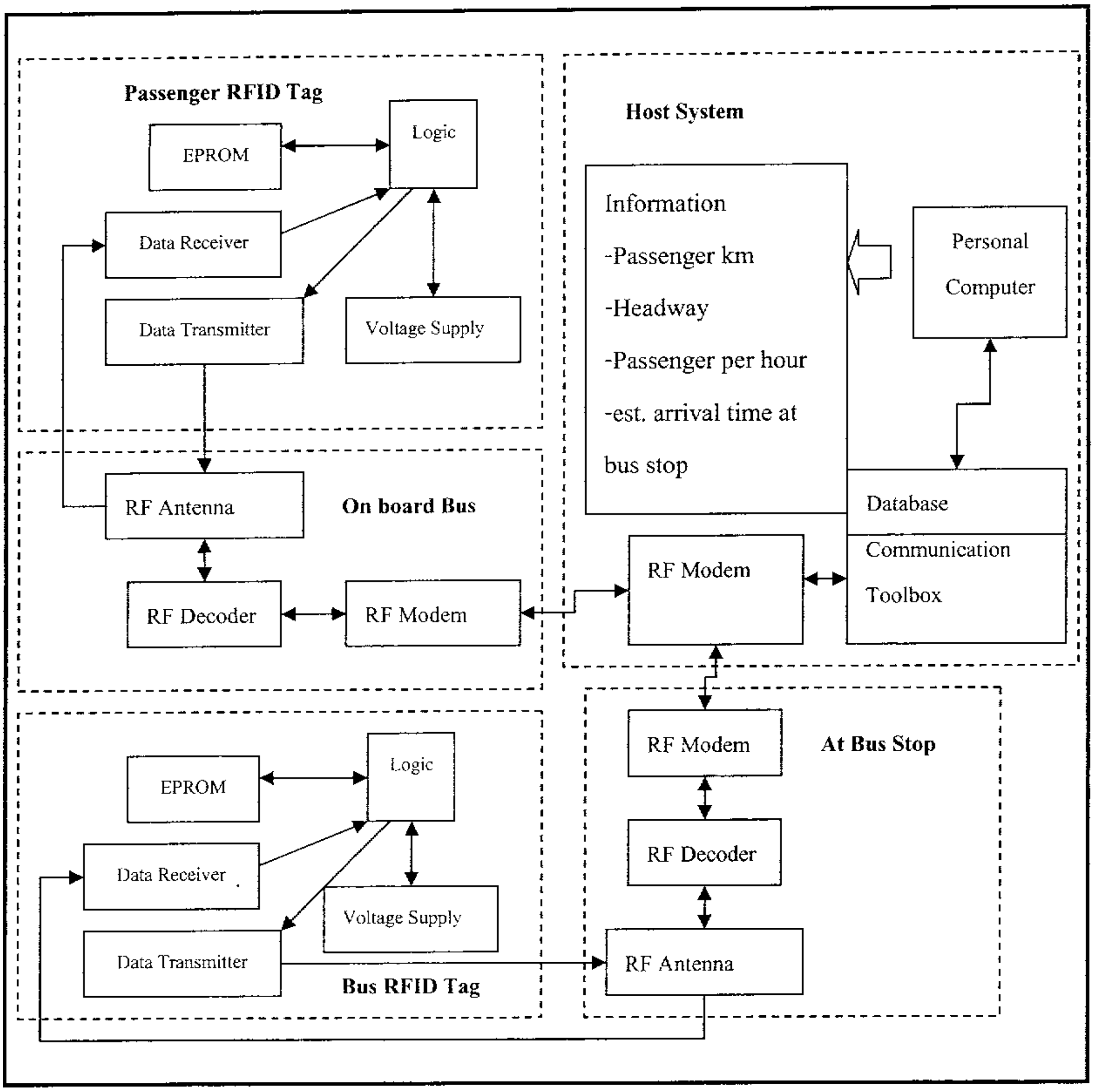
การศึกษานี้ต้องการศึกษาถึงแนวทางในการนำเอาระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ มาประยุกต์ใช้สำหรับการบันทึกปริมาณการเดินทางของผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางอันจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการเดินรถ ให้สามารถจัดตารางเวลาเดินรถได้อย่างเหมาะสมรวมทั้งสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในการให้บริการเดินรถโดยสารประจำทาง ด้วยการนำข้อมูลที่ได้จากระบบ RFID ซึ่งระบุตำแหน่งของรถโดยสารประจำทาง และช่วยในการคำนวณหาระยะเวลาที่คาดว่ารถโดยสารประจำทางจะเดินทางเข้าสู่ป้ายหยุดรับส่งล่วงหน้า ซึ่งเป็นการบอกข้อมูลสำหรับผู้โดยสารในการตัดสินใจใช้บริการได้เป็นอย่างดี

แนวคิดในการออกแบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ และส่วนของโปรแกรม ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อข้อมูลที่ได้จากคลื่นความถี่วิทยุส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ประมวลผลส่วนกลาง ระบบนี้ผู้โดยสารจะมีบัตรโดยสารซึ่งเป็นบัตรที่บรรจุข้อมูลสำคัญในการชำระค่าโดยสารอัตโนมัติ รวมทั้งบันทึกเวลา (ทั้งขึ้นและลง) โดยอาศัยคลื่นวิทยุในการส่งผ่านข้อมูลจากบัตรไปยังเสารับสัญญาณซึ่งจะทำการติดตั้งอยู่ที่สถานีหยุดรับส่งผู้โดยสารตลอดเส้นทางเดินรถ ทั้งนี้ ตัวรถโดยสารเองก็จะถูกติดตั้งแท็กเพื่อแสดงสถานะ เช่น รถโดยสารสายที่เท่าไหร่ หมายเลขทะเบียนรถหมายเลขรถ เพื่อใช้สำหรับแสดงผลเวลาการเข้าถึงสถานีหยุดรับส่งในสถานีถัดไป รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ของระบบ RFID และรูปแบบการทำงานที่ประกอบด้วย (1) แท็ก (2)เครื่องอ่าน ภายใน

ประกอบด้วย เครื่องแปลงสัญญาณ (RF Decoder) และอุปกรณ์ภาครับ (RF Antenna) (3) อุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อ และ (4) คอมพิวเตอร์ส่วนกลาง

ขั้นตอนการทำงานในส่วนของระบบเป็นดังนี้

1. บนรถโดยสารมีเครื่องอ่านหรือ Reader จะปล่อยคลื่นวิทยุออกมารอบตัวตลอดเวลาเพื่อคอยตรวจสอบว่าจะพบตัวส่งหรือ Transponder หรือไม่
2. ผู้โดยสารขึ้นรถโดยสารพร้อมด้วยบัตรโดยสาร (Tag/Transponder) เมื่อมีตัว Transponder เข้ามาในขอบเขตการรับข้อมูลของตัว Reader ตัว Transponder ก็จะส่งข้อมูลที่เก็บอยู่ภายในหน่วยความจำของมันไปให้ยังตัว Reader
3. เมื่อตัว Reader ได้รับข้อมูลมาจากตัว Transponder แล้ว ก็จะส่งข้อมูลต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งต่ออยู่กับตัว Reader แล้วโปรแกรมที่ใช้ในระบบก็จะรับข้อมูลต่อไป
4. เมื่อโปรแกรมได้รับข้อมูลมาจากตัว Reader แล้วก็จะนำข้อมูลที่ได้มา ไปตรวจสอบกับระบบฐานข้อมูลที่มีอยู่เพื่อดึงข้อมูลที่ต้องการมาจากระบบฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการประมวลค่าโดยสาร
5. ในส่วนของโปรแกรมคำนวณค่าโดยสารจะอาศัยข้อมูลสถานะของเส้นทางเดินรถ และตำแหน่งที่ผู้โดยสารขึ้นหรือลงจากข้อมูลที่เครื่องอ่านที่ติดตั้งไว้ที่สถานีหยุดรับส่งผู้โดยสารที่รับข้อมูลจาก Transponder ได้ทำการติดตั้งไว้ที่ตัวรถโดยสาร เพื่อเป็นตัวแสดงสถานะของเส้นทางเดินรถ และตำแหน่งของรถ เมื่อ Reader ที่สถานีได้รับข้อมูลจากตัวรถแล้ว ก็จะส่งข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูล
6. เมื่อได้ข้อมูลตำแหน่งรถโดยสารมาจากป้ายหยุดรับส่ง โปรแกรมจะคำนวณระยะเวลาที่คาดว่ารถโดยสารคันนั้นจะใช้สำหรับเดินทางไปยังป้ายหยุดรับส่งถัดไป เพื่อแสดงผล แจ้งเวลาที่คาดว่ารถโดยสารสายดังกล่าวจะเข้าสู่ป้ายหยุดรับส่งต่อไป
7. ระบบเก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง จะทำหน้าที่เก็บบันทึกข้อมูลที่จำเป็นต่างๆ ลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นสถิติของจำนวนผู้โดยสารตลอดเส้นทาง จำนวนผู้โดยสารต่อชั่วโมง รวมทั้งระยะเวลาเดินทางเฉลี่ยของรถ ซึ่งนำไปใช้ในกระบวนการจัดตารางเวลาเดินรถต่อไป

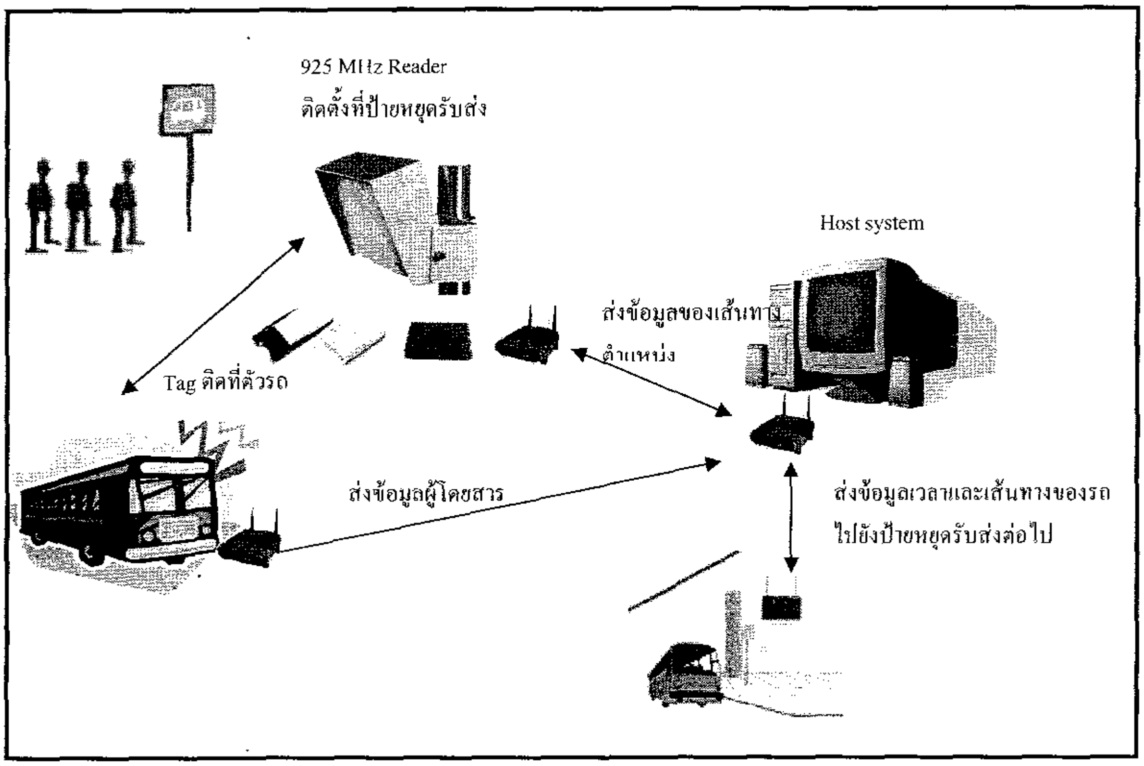


รูปที่ 3.1 ผังการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ และระบบประมวลผล

จากแนวทางในการทำงานที่ได้ออกแบบไว้สามารถกำหนดชุดอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ ดังนี้

1) Tag ชนิด Active Tag ที่มีความถี่ในช่วง 925 MHz ซึ่งมีกำลังส่งระหว่าง 2-5 เมตรสำหรับติดไว้บนรถโดยสารประจำทาง จำนวน 1 ชิ้นต่อคัน สำหรับเก็บข้อมูลเส้นทางเดินรถ หมายเลขประจำรถ เลขทะเบียนรถ
2) Contactless smart card หรือ Passive Tag ที่มีความถี่ในช่วง 13. 56 MHz ซึ่งมีกำลังส่งประมาณ 1 เมตร สำหรับเก็บข้อมูลผู้ใช้บริการ 1 บัตรต่อคน
3) Reader คลื่นความถี่ในช่วง 13.56 MHz และมีระยะการทำงาน 1 เมตร สำหรับติดไว้บนรถโดยสารประจำทางจำนวน 2 ชุด ติดตั้งไว้ที่บริเวณประตูทางขึ้นและทางลง

4) Reader ที่มีคลื่นความถี่สูงช่วง 925 Hz ซึ่งมีระยะการทำงาน 2-5 เมตร สำหรับติดไว้ที่ป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสาร เพื่อรับข้อมูลของตัวรถโดยสารที่เข้าสู่ป้าย
5) คอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล และเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ
6) โมเด็มเชื่อมต่อความเร็วสูงที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ 1 ชุด ติดตั้งไว้บริเวณป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสารจำนวน 1 ชุด และบนรถโดยสารประจำทางจำนวน 1 ชุด



รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้เก็บค่าโดยสารและบอกตำแหน่งรถโดยสารอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.2 เป็นผังการทำงานของระบบ RFID สำหรับการเก็บเงินค่าโดยสารอัตโนมัติ พร้อมทั้งสามารถระบุตำแหน่งของรถโดยสาร แสดงสถานะของการเข้าถึงป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสาร ซึ่งมีลักษณะทำงานหรือแสดงผลได้เช่นเดียวกับ Passenger Information System ของระบบการจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) ที่ใช้ระบบการบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ หรือ GPS ในการบอกตำแหน่งของยานพาหนะ ซึ่งแนวคิดในการออกแบบของการศึกษานี้ ได้นำเอาระบบ RFID มาใช้ในการบอกตำแหน่งของรถโดยสารแทนระบบ GPS ซึ่งมีข้อแตกต่างกัน คือ ตำแหน่งล่าสุดของรถโดยสารจะเป็นตำแหน่งป้ายหยุดรับส่งที่รถโดยสารผ่านครั้งสุดท้าย ซึ่งจะไม่ทราบตำแหน่งที่แท้จริงได้เช่นเดียวกับระบบ GPS แต่เนื่องจากการเดินรถโดยสารประจำทางนั้นเป็นการเดินทางที่มีเส้นทางที่แน่นอน จึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องทราบตำแหน่งที่แน่นอนเช่นเดียวกับการขนส่งสินค้า ซึ่ง

ต้องการทราบตำแหน่งที่แน่ชัดเพื่อการติดตามสินค้า เมื่อสามารถกำหนดผังการทำงานของระบบได้แล้ว จึงได้มีการศึกษาการวางโครงข่ายของระบบ เพื่อให้ครอบคลุมการบริการเดินรถโดยสารประจำทางของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีอยู่ทั้งสิ้น 19 สาย ดังที่จะได้แสดงในหัวข้อถัดไป

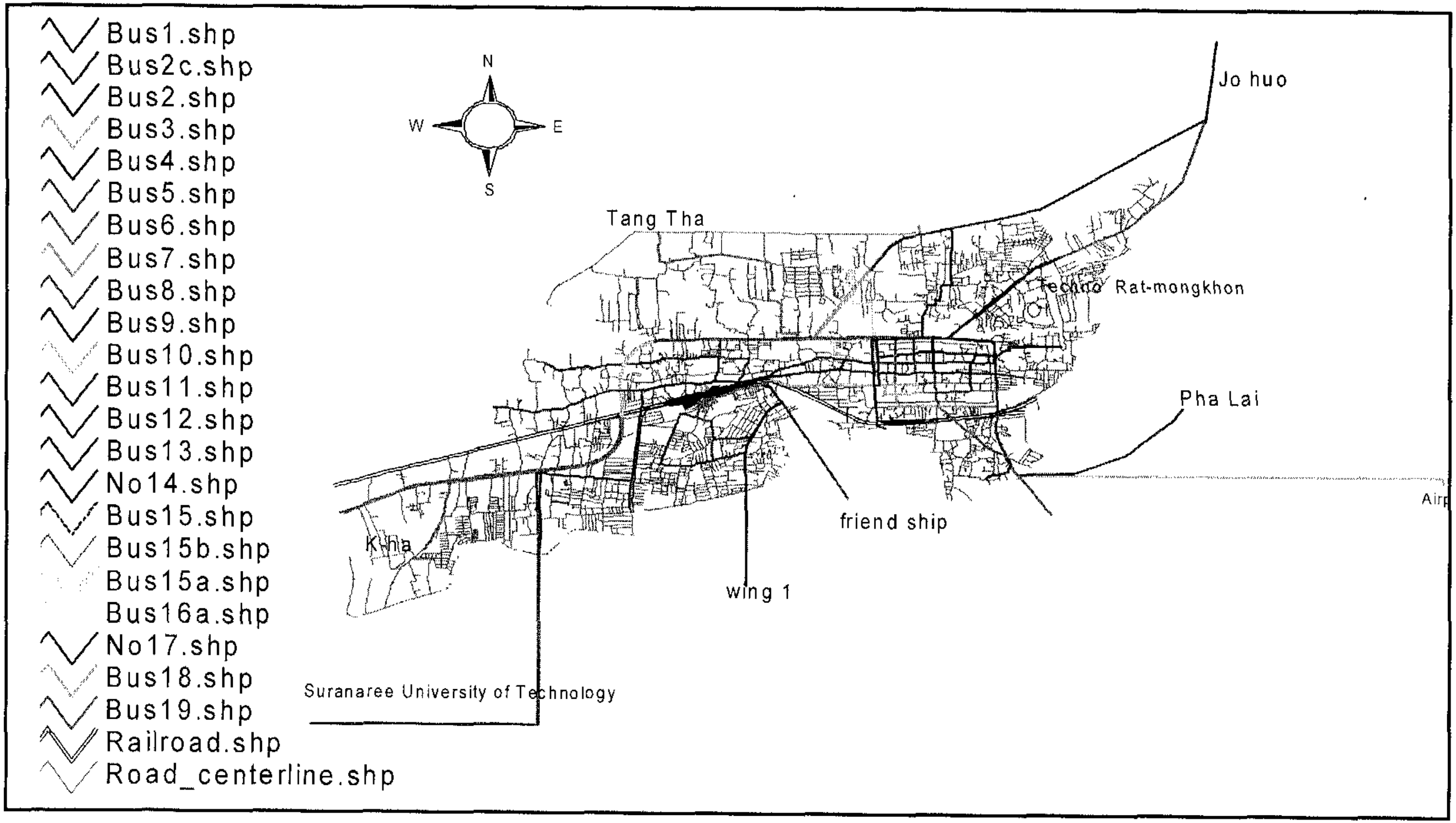
3.2 การศึกษาเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทางในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

แนวคิดในการออกแบบโครงข่ายของระบบ RFID เพื่อการบริหารจัดการการเดินรถโดยสารประจำทาง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้ระบบ RFID บริหารจัดการได้ครอบคลุมเส้นทางการเดินรถทั้ง 19 สาย โดยใช้ทรัพยากรร่วมกัน คือ การใช้เครือข่ายของตัว Reader ที่ทำการติดตั้งไว้ ณ ป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสาร ร่วมกันของรถโดยสารทั้ง 19 สาย ดังนั้น ความสำคัญในการออกแบบคือ การกำหนดจุดที่เป็นป้ายหยุดรถโดยสารประจำทางที่รถโดยสารประจำทางแต่ละสายวิ่งผ่านซ้อนทับเส้นทางกัน และมีความต่อเนื่องในการติดตามรถโดยสารแต่ละเส้นทางอย่างต่อเนื่องทั้งขาไปและกลับ ทางผู้ศึกษาจึงได้ทำการสำรวจทั้งจากข้อมูลการให้สัมปทานเส้นทางการเดินรถที่ได้จากสำนักงานขนส่งจังหวัดนครราชสีมา และออกสำรวจภาคสนามถึงความเป็นไปได้ในการกำหนดจุดเพื่อติดตั้ง Reader รวมทั้งป้ายแสดงตารางเวลาในการเดินรถ ภาคผนวก ข เป็นรายละเอียดของเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทางทั้ง 19 สาย รูปที่ 3.3 แสดงเส้นทางของการเดินรถที่ซ้อนทับกันของเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทางทั้ง 19 สาย

ทางผู้ศึกษาได้ทำการสำรวจภาคสนามถึงเส้นทางการเดินรถ จุดหยุดรับส่งที่มีตลอดเส้นทาง ทั้งทิศทางไปและกลับ โดยมีข้อมูลที่ต้องการจากการสำรวจ ดังนี้

1. จุดหยุดรับ-ส่ง ผู้โดยสารที่มีจำนวนผู้โดยสารขึ้นลง มากที่สุดของแต่ละเส้นทางการเดินรถ
2. จุดหยุดรับส่งที่สำรวจนั้นมีเส้นทางเดินรถใดวิ่งผ่านบ้าง
3. สภาพทางกายภาพ ที่สามารถพัฒนาให้เป็นจุดหยุดรับส่งที่สอดคล้องกับระบบ

หลังจากนั้นทางผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยการใช้แผนที่ดิจิตอล ในการสร้างเส้นทางเดินรถโดยสารแต่ละสาย และกำหนดจุดหยุดรับส่งที่สามารถใช้เป็นจุดติดตั้งป้ายแสดงข้อมูลสำหรับการเดินทาง และอุปกรณ์ของระบบ RFID ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.3



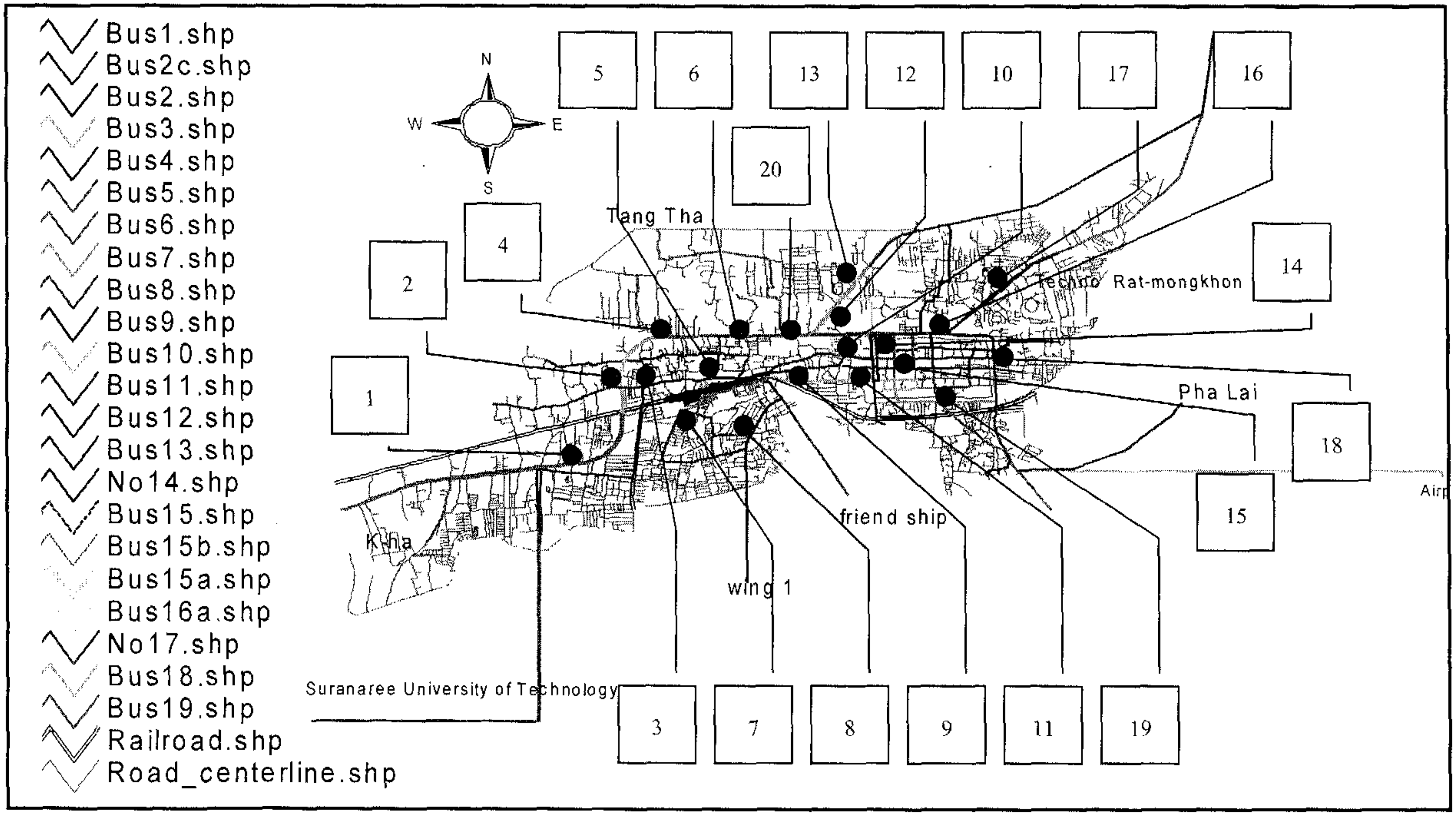
รูปที่ 3.3 เส้นทางการเดินรถโดยสารประจำทาง ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาทั้ง 19 สาย

3.3 การกำหนดจุดติดตั้งระบบ RFID และโครงข่าย RFID

จากข้อมูลเส้นทางการเดินรถโดยสารประจำทางที่สำรวจได้ และนำมาวิเคราะห์ผลหาจุดหยุดรับส่งที่มีความเหมาะสมต่อการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณวิทยุ RFID โดยมีแนวทางในการพิจารณาจากความเหมาะสมทางด้านกายภาพ จำนวนของผู้โดยสารที่ใช้บริการ ณ ป้ายหยุดรับส่งในปัจจุบัน และการวิ่งซ้อนทับเส้นทางกันของรถโดยสารประจำทางแต่ละสาย สามารถสรุปจำนวนจุดติดตั้งได้ทั้งสิ้น 20 จุด ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทางที่วิ่งผ่านจุดดังรายละเอียดในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของบริเวณที่กำหนดให้เป็นจุดหยุดรับส่งสำหรับติดตั้งระบบ RFID โดยตำแหน่งทั้ง 20 จุดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4

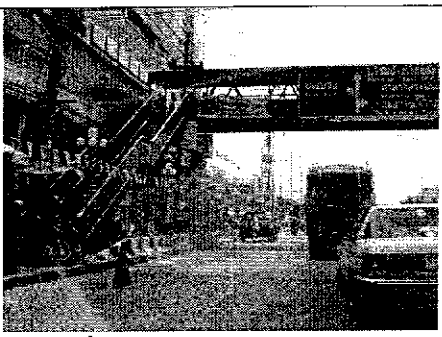
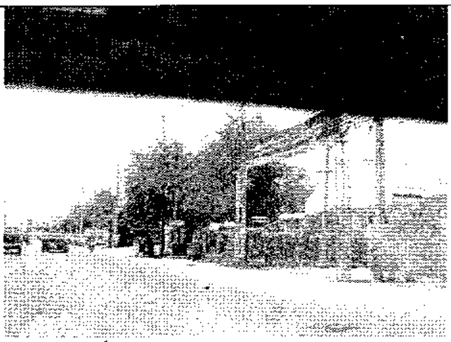
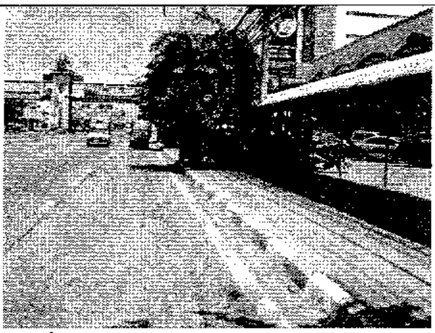
ตารางที่ 3.1 จุดติดตั้งเครื่องรับสัญญาณวิทยุ และเส้นทางเดินรถโดยสารที่วิ่งผ่าน

จุดที่ / Bus no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1			Δ		Δ				Δ	Δ	Δ			Δ	Δ	Δ	Δ			
2	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ			Δ	Δ	Δ			Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
3		Δ	Δ	Δ	Δ						Δ			Δ						
4											Δ			Δ						
5											Δ			Δ					Δ	
6	Δ			Δ		Δ					Δ			Δ		Δ	Δ			Δ
7											Δ	Δ	Δ	Δ				Δ	Δ	
8						Δ	Δ				Δ			Δ	Δ			Δ	Δ	Δ
9										Δ				Δ				Δ		
10											Δ	Δ	Δ	Δ						
11								Δ		Δ	Δ			Δ						
12				Δ						Δ	Δ			Δ				Δ		
13							Δ	Δ		Δ				Δ				Δ		
14							Δ	Δ		Δ				Δ				Δ		
15											Δ	Δ	Δ	Δ						
16												Δ	Δ			Δ	Δ			
17	Δ			Δ		Δ						Δ	Δ			Δ		Δ		Δ
18										Δ	Δ			Δ				Δ		
19											Δ			Δ						Δ

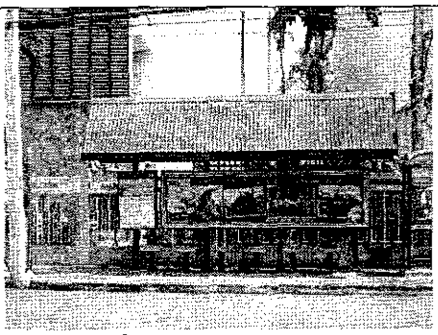
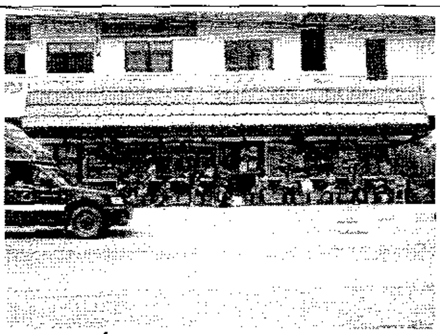
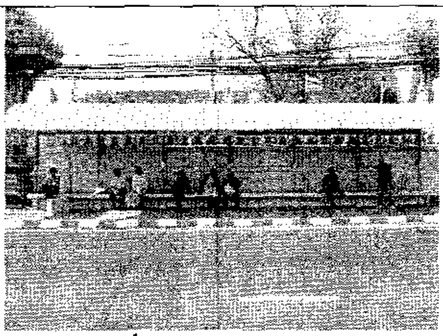
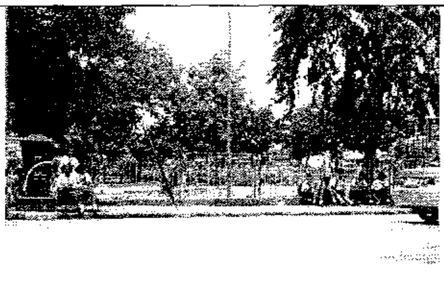


รูปที่ 3.4 ตำแหน่งของป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสารที่ทำการติดตั้งระบบ RFID 20 จุด

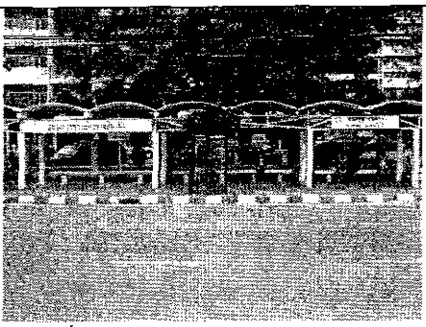
ตารางที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของบริเวณที่เป็นจุดหยุดรับส่ง

 **จุดที่ 1** บริเวณตลาดสามแยกปัก	 **จุดที่ 2** บริษัทเฉลิมพลขนส่ง จำกัด
 **จุดที่ 3** หน้าชุมชนประสพสุข	 **จุดที่ 4** หน้าห้าง Tesco Lotus
 จุดที่ 5 หน้าวัดสมอรายและสถานีรถไฟ	 **จุดที่ 6** หน้าห้าง The Mall ถ.มิตรภาพ
 จุดที่ 7 ข้างหน้าวัดป่าสาละวัน	 **จุดที่ 8** หน้า รร.อนุบาลบวร

ตารางที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของบริเวณที่เป็นจุดหยุดรับส่ง (ต่อ)

 **จุดที่ 9** หน้าเทศบาลนคร	 **จุดที่ 10** หน้าตลาดแม่กิมเฮง
 จุดที่ 11 ข้างห้างคลังพลาซ่า	 **จุดที่ 12** หน้าห้างสรรพสินค้า Big C
 จุดที่ 13 หน้า ร.ร. อัสสัมชัญ	 **จุดที่ 14** หน้าวัดสามัคคี
 จุดที่ 15 แยกถนนจอมพล	 **จุดที่ 16** บริเวณประตูน้ำ

ตารางที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของบริเวณที่เป็นจุดหยุดรับส่ง (ต่อ)

	
จุดที่ 17 หน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏ	**จุดที่ 18** หน้าร้านเตียหงี่เฮียง
จุดที่ 19 ถ.ไชยณรงค์ห้าแยกประตูผี	**จุดที่ 20** แยกเข้า รร.โคราชพิทยาคม

รูปที่ 3.5 จุดหยุดรับส่งผู้โดยสาร

รูปที่ 3.5 เป็นตัวอย่างของจุดหยุดรับส่งผู้โดยสารรถโดยสารประจำทาง ที่มีระบบข้อมูลข่าวสารสำหรับให้บริการแก่ผู้ใช้บริการ ประกอบด้วยป้ายแสดงข้อมูลเส้นทางการเดินรถ และระยะเวลาที่

คาดว่ารถจะมาถึงจุดหยุดรับส่ง โดยระบบ RFID จะช่วยในการตรวจจับตำแหน่งของรถโดยสารเมื่อผ่านจุดหยุดรับส่งทั้ง 20 จุด ที่ได้นำเสนอข้างต้น

3.4 ข้อมูล และการประมวลผลด้วยซอฟท์แวร์

3.4.1 ข้อมูลสำหรับการจัดตารางเดินรถ

ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดตารางเดินรถด้วยระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย

1. จำนวนผู้โดยสาร

เพื่อต้องการทราบจำนวนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางจริงซึ่งถือเป็นตัวแทนของความต้องการในการเดินทาง (Demand) จากข้อมูลที่ได้มาจากระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RIFD เพื่อวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณผู้ใช้บริการจริงต่อความสามารถในการขนส่งผู้โดยสารของระบบ ดัชนีที่จะทำการวิเคราะห์ได้แก่

- จำนวนผู้โดยสารต่อเที่ยว
- จำนวนผู้โดยสารต่อชั่วโมงต่อทิศทาง
- จำนวนผู้โดยสารต่อวันต่อทิศทาง
- จำนวนผู้โดยสารบนรถคูณระยะทางที่โดยสาร (Passenger·Kilometer)

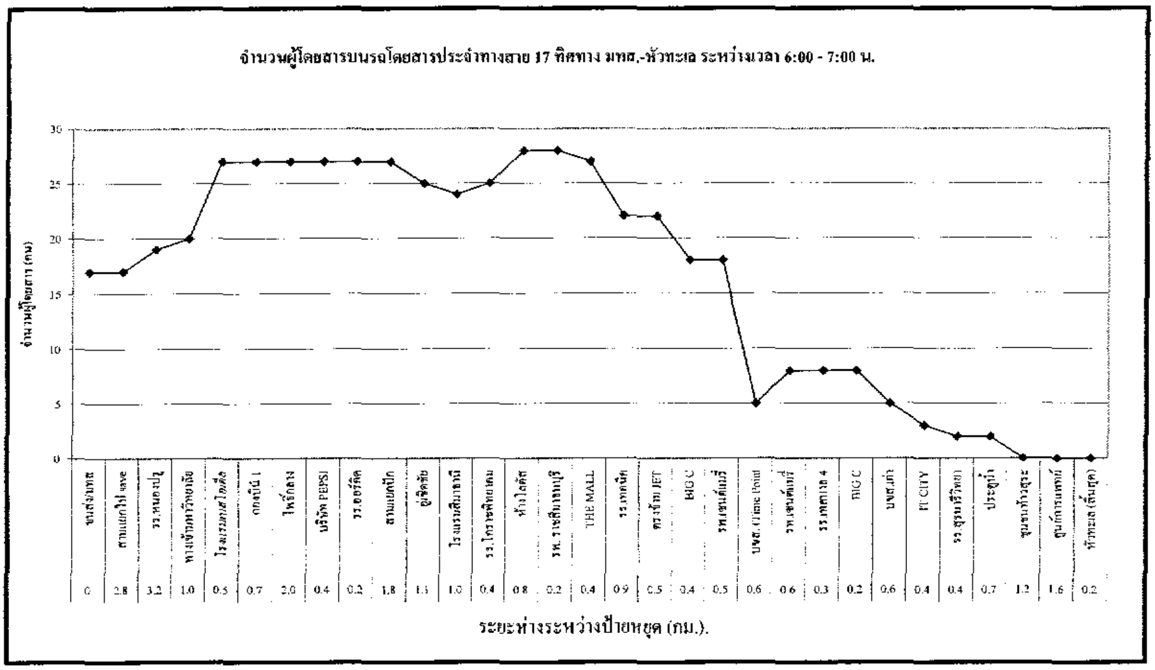
2. ระยะเวลาเดินรถเฉลี่ย

จากข้อมูลที่ได้จาก ระบบ RFID ต้องสามารถนำมาวิเคราะห์ตามดัชนีที่กำหนดดังนี้

- ระยะเวลาในการเดินรถเฉลี่ยต่อทิศทางในแต่ละช่วงเวลา
- ระยะเวลาเดินรถเฉลี่ยในแต่ละช่วงป้ายหยุดรถประจำทาง
- ระยะเวลาที่รถจอดรับส่งผู้โดยสารโดยเฉลี่ยต่อป้าย
- ระยะเวลาเดินรถครบ 1 รอบโดยรวมระยะเวลาจอด และกลับรถ

3. ระยะทางที่ผู้โดยสารเดินทาง

ระยะทางเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางนั่งโดยสารไปต่อเที่ยวนั้นจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการบริหารจัดการเดินรถโดยสาร ถ้ามีผู้โดยสารขึ้นเต็มตั้งแต่ต้นทางและโดยสารไประยะทางยาวมากต่อเที่ยวเดินรถนั้นแสดงว่าอัตราการครอบครองที่นั่งนั้นสูง ผู้โดยสารที่อยู่รายทางจำเป็นต้องยืนทำให้คุณภาพในการให้บริการลดลงได้



รูปที่ 3.5 จำนวนผู้โดยสารบนรถตลอดเส้นทางเดินรถในช่วงเวลา 6:00 – 7:00 น.

จากข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ของผู้โดยสารที่โดยสารบนรถตลอดเส้นทางเดินรถได้ ตัวอย่างในดังรูปที่ 3.5 โดยจำนวนผู้โดยสารบนรถคูณกับระยะทางที่โดยสารจะได้จำนวนผู้โดยสารกิโลเมตร ที่แทนด้วยพื้นที่ใต้กราฟ (A : Passenger·Kilometer) และสามารถวิเคราะห์หาระยะทางที่ผู้โดยสารนั่งบนรถโดยเฉลี่ยต่อคนเที่ยว ได้จากสมการที่ 3.1

$$T_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} F \times \sum_{i=1}^{n} P\right)} \tag{3.1}$$

โดยที่ i = ชั่วโมงในการให้บริการที่ $i = 1, 2, \ldots, n$

$\sum_{i=1}^{n} A_i$ = ผลรวมของผู้โดยสารบนรถคูณระยะทางที่โดยสารในช่วงเวลาให้บริการ i

$\sum_{i=1}^{n} F$ = ผลรวมของเที่ยวในการเดินรถโดยสารในช่วงเวลาให้บริการ i

$\sum_{i=1}^{n} P$ = ผลรวมของจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในช่วงเวลาให้บริการ i

T_a = ระยะทางที่ผู้โดยสารเดินทางเฉลี่ยต่อคนเที่ยว

4. ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้โดยสาร

เวลาที่ใช้รอรถนั้นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวัดคุณภาพการบริการด้านความน่าเชื่อถือ โดยสามารถหาได้ 2 วิธี คือ ทางตรง ที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้โดยสาร โดยจะทำการสอบถามถึงระยะเวลาที่ใช้ในการรอรถที่ป้าย ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง คือ เกิดจากการประมาณค่าโดยผู้โดยสาร จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์ ที่ Bowman และ Turnquist [12] ได้นำเสนอไว้ในการตรวจสอบคุณภาพการบริการของรถโดยสารสาธารณะ เวลารอรถเฉลี่ยของผู้โดยสารที่ป้ายจะมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้โดยสารได้จากสมการที่ 3.2

$$E(w) = \frac{E(h)}{2}\left[1 + \frac{Var(h)}{E^2(h)}\right] \quad (3.2)$$

โดยที่ E(w) = ค่าเฉลี่ยในการรอคอย

E(h) = ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ

Var(h) = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ

$E^2(h)$ = ค่ากำลังสองของค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ

นั่นหมายความว่า ถ้ารถโดยสารประจำทางมีการปล่อยรถที่มีความถี่สม่ำเสมอคือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถเท่ากับศูนย์ จะทำให้ค่าระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้โดยสารมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถโดยเฉลี่ย

5. มูลค่าของเวลารอคอย

ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์หามูลค่าของเวลารอคอยของผู้โดยสารต่อชั่วโมง โดยอาศัยฐานการคำนวณจาก ข้อมูลรายได้ในการประกอบอาชีพต่อเดือนของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง และระยะเวลาในการปฏิบัติงานตามความเป็นจริง คือทำงานเดือนละ 22 วัน เวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณหามูลค่าของเวลารอคอยโดยเฉลี่ยได้ดังสมการที่ 3.3

$$V_w = \frac{E(S)}{(22 \times 8)} \qquad (3.3)$$

โดยที่ E(S) = รายได้ผู้โดยสารเฉลี่ยต่อเดือน

V_w = มูลค่าของเวลารอคอยของผู้โดยสารต่อชั่วโมง

6. ค่าโดยสารเฉลี่ยต่อระยะทางกิโลเมตร

เมื่อทราบระยะทางที่ผู้โดยสารเดินทางเฉลี่ย จะสามารถวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายของผู้โดยสารเฉลี่ยต่อระยะทาง 1 กิโลเมตรได้ จากค่าโดยสารที่ผู้โดยสารจ่ายไปหารด้วยค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผู้โดยสารนั่งโดยสารบนรถ เป็นดัชนีตัวหนึ่งที่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางด้วยรูปแบบในการเดินทางอื่นๆ ได้

7. รายได้จากค่าโดยสารโดยเฉลี่ยต่อกิโลเมตร

ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติทำการเก็บรวมรวมสถิติของรายได้จากการเก็บค่าโดยสารของผู้ประกอบการเดินรถโดยสารประจำทาง โดยรวบรวมจากยอดค่าโดยสารที่เก็บได้ในแต่ละเที่ยวเดินรถนำมาหารด้วยระยะทางเดินรถทั้งสิ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับต้นทุนในการเดินรถโดยสารประจำทางต่อระยะทางกิโลเมตร

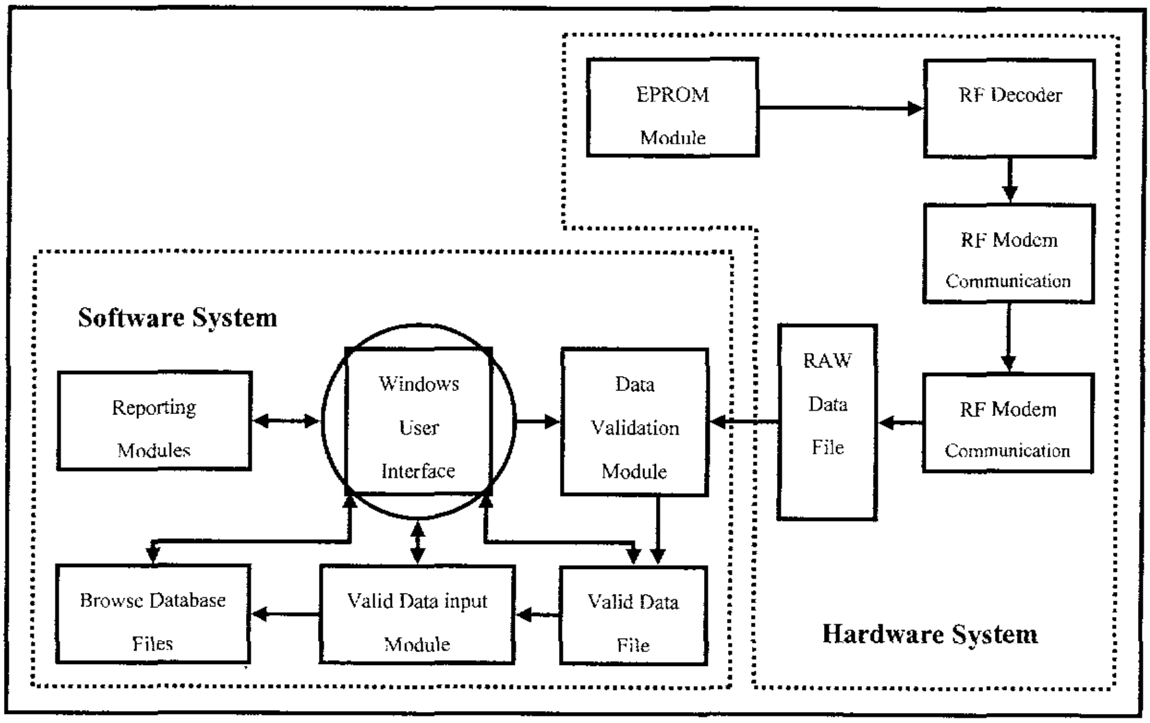
8. ต้นทุนในการประกอบกิจการเดินรถโดยสารประจำทาง

นำข้อมูลด้านการจัดการเดินรถที่ได้จากการสอบถามผู้ประกอบการเดินรถ มาวิเคราะห์หาต้นทุนในการเดินรถ (Running Cost) ซึ่งเป็นต้นทุนที่มีการผันแปรตามระยะทางที่ให้บริการมีหน่วยเป็นบาทต่อกิโลเมตร และในส่วนของต้นทุนคงที่ซึ่งเกิดจากการจัดหารถและค่าใช้จ่ายต่าง ๆในการบริหาร (Fixed Cost) มีหน่วยเป็นบาทต่อเดือน หรือบาทต่อวัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตารางเวลาในการเดินรถต่อไป

3.4.2 การออกแบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลนั้นเป็นส่วนสำคัญในการเชื่อมต่อกับการประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้จากระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัตินั้นจะถูกบันทึกไว้อย่างเป็นระบบที่คอมพิวเตอร์ส่วนกลาง เพื่อให้สะดวกในการเรียกใช้ รูปที่ 3.6 เป็นผังจำลองการเชื่อมต่อของฐานข้อมูลต่างๆ ของรถโดยสารจากระบบ RFID และข้อมูลผู้โดยสารจากเครื่องเก็บค่าโดยสาร

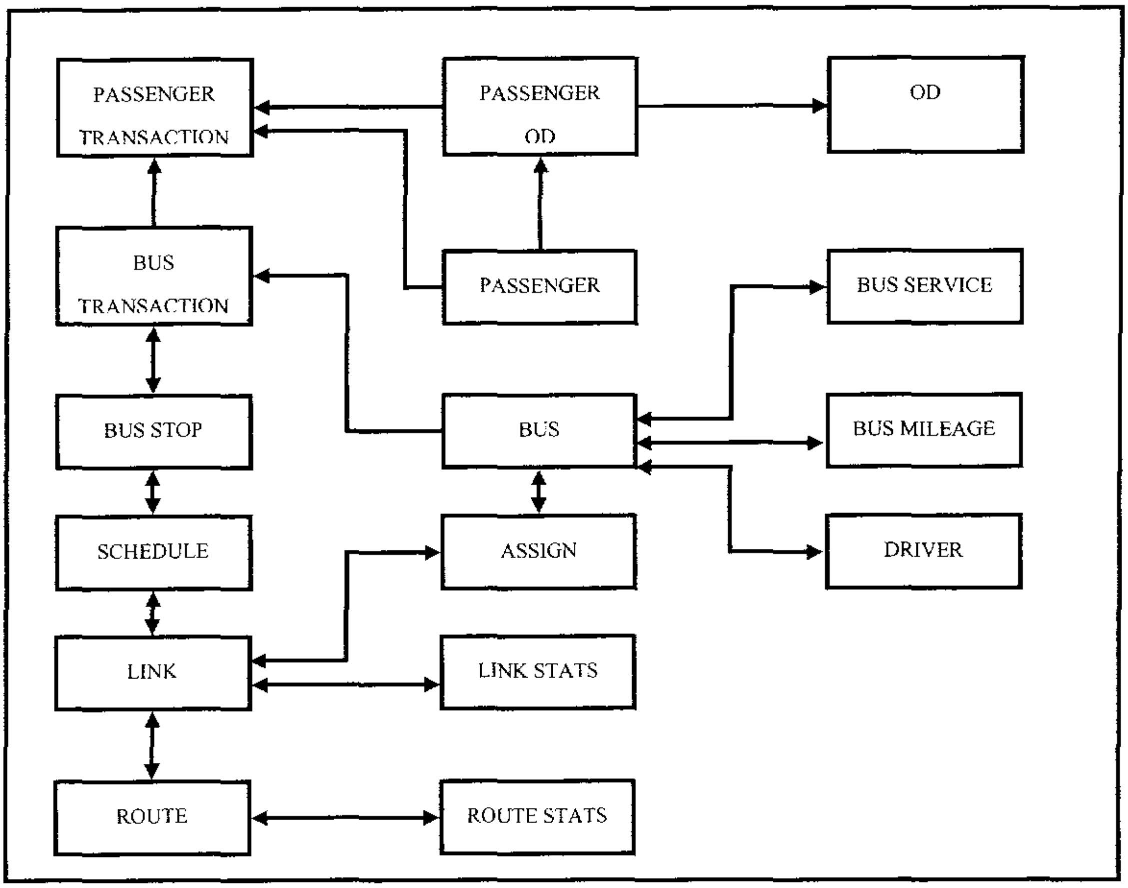
อัตโนมัติ ซึ่งจะส่งผ่านข้อมูลด้วยโมเด็มความเร็วสูง ข้อมูลดิบ (Raw data file) เมื่อระบบคอมพิวเตอร์ได้รับข้อมูลดิบ จะทำการแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้เป็นแฟ้มข้อมูลพร้อมใช้ (Valid data file) และข้อมูลบางตัวที่จะถูกป้อนเข้าจากผู้ใช้ จะเก็บไว้ในรูปของแฟ้มข้อมูลนำเข้า (Valid data input file) อาทิเช่น จำนวนที่นั่ง จำนวนที่ยืน หรือข้อมูลด้านการบริหาร ข้อมูลทั้งสองส่วนนี้จะถูกรวบรวมไว้สำหรับการเรียกใช้งานซึ่งเรียกว่า Browse database file ในส่วนของการรายงานผลนั้นจะถูกเก็บไว้ใน Reporting Modules ผู้ใช้สามารถเรียกใช้ตามแบบการรายงานที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.6 การส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์และซอฟท์แวร์

ในการออกแบบฐานข้อมูลนั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละตัว รวมทั้งกำหนดคีย์หลัก (Primary key) ของตัวแปร (Attribute) และคุณสมบัติต่างๆ ของตัวแปร เพื่อให้ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันอย่างถูกต้อง ขั้นตอนในการออกแบบระบบฐานข้อมูล คือ การหาและกำหนดตัวแปรทั้งหมดที่มีอยู่และจำเป็นต้องใช้ สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด ว่ามีความสัมพันธ์กันในส่วนใดบ้าง ซึ่งประเภทของความสัมพันธ์จะมีทั้งแบบ one to one / one to many / many to many / many to one โดยตัวแปรที่จำเป็นสำหรับการจัดตารางเวลาเดินรถประกอบด้วย ผู้โดยสาร รถโดยสาร จุดหยุดรับส่งผู้โดยสาร และเส้นทางเดินรถ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4.1 สามารถกำหนดเป็นตัวแปรสำหรับเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูล เพื่อให้สะดวกต่อการเรียกใช้งาน การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญ ของระบบ RFID ดังรูปที่ 3.7 เป็นข้อมูล

ที่ควรได้รับจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ที่ตัวรถโดยสาร บัตรโดยสารที่ผู้โดยสารใช้สำหรับชำระค่าโดยสารอัตโนมัติ และที่ป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสาร เพื่อให้สะดวกในการเรียกใช้สำหรับประมวลผลการจัดตารางเวลาเดินรถ



รูปที่ 3.7 ผังความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

3.4.3 การประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการศึกษานี้ ได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณผู้โดยสารที่ขึ้น-ลงรถโดยสารที่ป้ายหยุดรับส่งผู้โดยสารตลอดเส้นทางการเดินรถ ของรถโดยสารประจำทางสาย 17 (มทส – หัวทะเล) โดยใช้พนักงานในการสำรวจ ซึ่งข้อมูลที่ได้ของระบบ RFID จัดเก็บนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับการสำรวจด้วยแรงงานคนทุกประการ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของการนำระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติมาใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพเดินรถ จึงนำข้อมูลที่สำรวจได้จากภาคสนามมาทำการทดลองจัดเที่ยวการเดินรถใหม่ โดยอาศัยการแก้ปัญหาเชิงเส้นในการหาจำนวนเที่ยวการเดินรถที่เหมาะสมที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ประการเดินรถมีผลกำไรสูงสุด ภายใต้เงื่อนไขของ

คุณภาพการให้บริการที่ผู้ใช้บริการควรได้รับ อาทิ การครอบครองที่นั่ง และระยะเวลารอคอย โดยรูปแบบของสมการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

Objective Function;

Maximize Profit:

$$Z = \sum_{j=1}^{2} \sum_{i=1}^{n} (R_{ij} \cdot F_a - O_{ij} \cdot f_{ij}) - (a + b \cdot N_B) \tag{3.4}$$

Subject to the Following Constraints;

Frequency Required:

$$f_{ij} \geq N_{ij} \tag{3.5}$$

Fleet Size Required:

$$N_B \geq \sum_{j=1}^{2} \sum_{i=1}^{n} DB_{ij} \tag{3.6}$$

$$DB_{ij} = f_{ij} - (SB_{i-1,j} + ABB_{ij} + ABA_{ij}) \tag{3.7}$$

$$SB_{ij} = DB_{ij} + ABB_{ij} + ABA_{ij} + SB_{i-1,j} - f_{ij} \tag{3.8}$$

$$f_{ij}, N_B, DB_{ij}, ABB_{ij}, ABA_{ij}, SB_{ij} \in I^+ \tag{3.9}$$

$$SB_{0,j}, ABA_{1,j}, ABA_{2,j}, ABB_{1,j} = 0 \tag{3.10}$$

โดยที่ f_{ij} = จำนวนรถที่กำหนดให้ออกจากสถานีในทิศทาง j ในชั่วโมงที่ i

R_{ij} = จำนวนผู้โดยสารที่ต้องการขึ้นรถในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

F_a = ค่าโดยสารเฉลี่ย (บาทต่อคน-เที่ยว)

O_{ij} = ต้นทุนในการเดินรถในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j (บาทต่อเที่ยวต่อทิศทาง)

a = ค่าใช้จ่ายภายในสำนักงาน (บาทต่อวัน)

b = ค่าใช้จ่ายในการจัดหารถ คิดค่าเสื่อม ค่าดอกเบี้ย และค่าจ้างพนักงานขับรถ (บาทต่อคันต่อวัน)

N_B = จำนวนรถที่จำเป็นต้องใช้สำหรับให้บริการเดินรถ

N_{ij} = จำนวนเที่ยวเดินรถขั้นต่ำสำหรับให้บริการในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

DB_{ij} = จำนวนรถที่เสริมจากอู่เข้าสถานีต้นทางของการเดินรถในทิศทาง j ในชั่วโมงที่ i

$SB_{i-1,j}$ = จำนวนรถที่คงค้างไว้ที่สถานีต้นทางของการเดินรถในทิศทาง j ในชั่วโมงที่ i-1

SB_{ij} = จำนวนรถที่คงค้างไว้ที่สถานีต้นทางของการเดินรถในทิศทาง j ในชั่วโมงที่ i

ABB_{ij} = จำนวนรถที่เข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในทิศทาง j ในชั่วโมงที่ i

$ABA_{i,j}$ = จำนวนรถที่ออกจากสถานีต้นทางของการเดินรถในทิศทาง j-1 ในชั่วโมงที่ i-2 และเข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในทิศทาง j ในชั่วโมงที่ i

I^+ = เลขจำนวนเต็มมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

ในการศึกษานี้ได้ใช้ Free Software ชื่อ GNUWIN32 ซึ่งสามารถใช้งานในการแก้ปัญหาสมการเชิงเส้นได้ โดยใช้ภาษา GNU ในการเขียนคำสั่งให้โปรแกรมทำการประมวลผล โดยคำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปของจำนวนเที่ยวเดินรถในแต่ละชั่วโมง และจำนวนรถโดยสารสำหรับให้บริการ ที่ทำให้ผู้ประกอบการได้ผลกำไรมากที่สุด ชุดคำสั่งในการประมวลผลและการป้อนข้อมูล รวมทั้งผลลัพธ์ที่ได้ นำเสนอในภาคผนวก ค ข้อมูลสำหรับการจัดเที่ยวเดินรถโดยสารสาย 17 แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และผลลัพธ์เที่ยวเดินรถของเส้นทางเดินรถสาย 17 ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลสำหรับการจัดเที่ยวเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17

Time Period	Round Trip Time	ทิศทางเดินรถ มทส. – หัวทะเล (j = 1)								ทิศทางเดินรถ หัวทะเล - มทส. (j =2)							
	(นาที)	R_{ij} (คน)	T_{ij} (นาที)	D_{ij} (คน)	H_{ij} (คน)	A_{ij} (คน-กม.)	f^*_{ij} (เที่ยว)	f^{**}_{ij} (เที่ยว)	N_{ij} (เที่ยว)	R_{ij} (คน)	T_{ij} (นาที)	D_{ij} (คน)	H_{ij} (คน)	A_{ij} (คน-กม.)	f^*_{ij} (เที่ยว)	f^{**}_{ij} (เที่ยว)	N_{ij} (เที่ยว)
6:00 -6:59	120	45	65	28	28	445.1	2	1	2	23	55	0	6	16.7	1	0	1
7:00 - 7 59	118	45	63	44	53	688.9	2	2	2	39	55	14	19	331.9	2	1	2
8:00 - 8:59	116	26	65	54	60	522.2	1	2	2	30	51	13	18	245.6	1	1	1
9:00 - 9:59	114	50	61	17	21	288.7	2	1	2	21	53	22	22	281.0	1	1	1
10:00 - 10:59	114	42	61	22	34	496.9	2	1	2	27	53	15	15	193.2	1	1	1
11:00 - 11:59	117	39	63	25	30	462.6	2	1	2	34	54	12	22	274.3	1	1	1
12:00 - 12:59	114	56	59	48	51	710.5	2	2	2	30	55	23	23	262.9	1	1	1
13:00 - 13:59	119	82	64	23	23	291.4	2	1	2	38	55	11	20	311.2	1	1	1
14:00 - 14 59	117	75	64	24	58	590.7	2	1	2	38	53	19	19	325.2	2	1	2
15:00 - 15:59	123	66	64	17	38	355.0	2	1	2	57	59	36	36	577.0	2	1	2
16:00 - 16:59	123	63	64	48	70	957.5	2	2	2	55	59	96	96	1184.8	2	3	3
17:00 - 17:59	114	64	57	40	70	773.1	2	1	2	59	57	31	64	702.0	2	1	2
18:00 - 18:59	111	38	56	9	19	214.7	2	1	2	53	55	34	34	514.2	2	1	2
Total	-	691	-	-	-	6797.3	25	17	26	504	-	-	-	5220.0	19	14	20

จากตารางที่ 3.3 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อคำนวณหาจำนวนเที่ยวเดินรถขั้นต่ำสำหรับให้บริการในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j ($N_{ij} = \max(f_{ij}^{*}, f_{ij}^{**})$) เมื่อ

f_{ij}^{*} คือ ความถี่ในการเดินรถน้อยที่สุด ที่ทำให้ระยะเวลารอคอยของผู้โดยสารนั้นสั้นที่สุด ซึ่งกำหนดให้ระยะเวลารอคอยรถของผู้โดยสารจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าเฉลี่ยระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ (Average Headway) โดยแบบจำลองนั้นถือว่า ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการให้บริการมาจากผลรวมของต้นทุนในการเดินรถของผู้ประกอบการ และมูลค่าเวลารอคอยรถของผู้โดยสาร คำนวณ f_{ij}^{*} ได้จากสมการที่ 3.11

Minimum Frequency $$(f_{ij})^{*} = \sqrt{\frac{R_{ij}C_W}{2T_{ij}C_B}} \tag{3.11}$$

โดยที่

f_{ij}^{*} = ความถี่หรือจำนวนเที่ยวที่ต้องการในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

R_{ij} = จำนวนผู้โดยสารที่ต้องการขึ้นรถในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

C_w = มูลค่าของเวลารอคอยรถโดยสาร ต่อ คน•ชั่วโมง

T_{ij} = เวลาในการเดินรถในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

C_B = ต้นทุนในการเดินรถ ต่อ คัน•ชั่วโมง

f_{ij}^{**} คือ การคำนวณหาจำนวนเที่ยวที่ต้องการจากการพิจารณาถึงความจุของรถโดยสารที่จะต้องมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ อาศัยข้อมูลของจำนวนผู้โดยสารที่เดินทางไปบนรถโดยสารตลอดระยะเวลาเดินรถ นั้นเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณ โดยจะให้ความสำคัญกับการครอบครองที่นั่งและที่ยืนของผู้โดยสารบนรถ ซึ่งจะถูกคำนวณออกมาอยู่ในรูปของ Load Factor โดยค่าของ Load Factor มีค่าน้อยกว่า 1.00 หมายความว่ารถโดยสารนั้นมีการบรรทุกผู้โดยสารอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรองรับได้ หากมีค่าเท่ากับ 1.00 นั้นเท่ากับว่ารถโดยสารคันนั้นมีการบรรทุกผู้โดยสารเต็มอัตรา ถือว่ามีประสิทธิภาพในการเดินรถสูงเป็นที่ปรารถนาของผู้ประกอบการเดินรถ แต่มุมมองของผู้โดยสารนั้นจะถือว่าระดับการให้บริการนั้นต่ำ เนื่องจากบนรถมีความแออัดสูง ที่นั่งว่างมีจำนวนจำกัด หรืออาจไม่มีเลยก็ได้ การคำนวณหาจำนวนเที่ยวสำหรับเดินรถโดยสารขั้นต่ำที่สำหรับรองรับปริมาณผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางในแต่ละช่วงเวลา สามารถหา f_{ij}^{**} ได้จาก สมการที่ 3.12

Minimum Frequency $$(f_{ij})^{**} = \min\left\{\frac{D_{ij}}{d}, \frac{H_{ij}}{d}, \max\left(\frac{A_{ij}}{d.L_j}, \frac{H_{ij}}{c}\right)\right\} \tag{3.12}$$

โดยที่

f_{ij}^{**} = ความถี่หรือจำนวนเที่ยวที่กำหนดในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

D_{ij} = จำนวนผู้โดยสารบนรถจากป้ายหยุดรถประจำทางที่มีผลรวมของผู้โดยสารบนรถตลอดวันมากที่สุดในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

H_{ij} = จำนวนผู้โดยสารบนรถที่มากที่สุดในชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

d = จำนวนที่นั่งบนรถโดยสารประจำทาง

c = ความจุของรถโดยสารประจำทาง รวมจำนวนที่นั่ง และที่ยืน

L_j = ระยะทางเดินรถในทิศทางที่ j

A_{ij} = ผลคูณของจำนวนผู้โดยสารบนรถและระยะทางที่โดยสาร ชั่วโมงที่ i ทิศทาง j

ตารางที่ 3.4 จำนวนเที่ยวเดินรถสำหรับเส้นทางเดินรถสาย 17

Time Period	ทิศทางการเดินรถ มทส.- หัวทะเล			ทิศทางการเดินรถ หัวทะเล - มทส.		
	$f_{observed}$	$N_{required}$	$f_{assigned}$	$f_{observed}$	$N_{required}$	$f_{assigned}$
6:00 -6:59	2	2	2	2	1	3
7:00 - 7:59	3	2	2	2	2	2
8:00 - 8:59	2	2	2	3	1	2
9:00 - 9:59	2	2	2	2	1	2
10:00 - 10:59	2	2	2	2	1	2
11:00 - 11:59	2	2	2	2	1	2
12:00 - 12:59	2	2	2	2	1	2
13:00 - 13:59	2	2	2	2	1	1
14:00 - 14:59	2	2	2	2	2	2
15:00 - 15:59	2	2	2	3	2	2
16:00 - 16:59	2	2	2	2	3	3
17:00 - 17:59	2	2	2	2	2	2
18:00 - 18:59	2	2	2	2	2	2
Total	**27**	**26**	**26**	**28**	**20**	**27**

หมายเหตุ $f_{observed}$ คือ จำนวนเที่ยวที่สำรวจได้ (รถปรับอากาศ 28 ที่นั่ง)

$N_{required}$ คือ จำนวนเที่ยวที่ต้องการขั้นต่ำ ($N_{ij} = \max(f_{ij}^{*}, f_{ij}^{**})$)

$f_{assigned}$ คือ จำนวนเที่ยวเดินรถที่ถูกกำหนดโดยการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น

ตารางที่ 3.4 เป็นผลลัพธ์จำนวนเที่ยวเดินรถที่ได้ จากการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น เปรียบเทียบกับการให้บริการในแบบเดิมของเส้นทางเดินรถสาย 17 โดยใช้รถโดยสารขนาด 28 ที่นั่งให้บริการตลอดเส้นทาง ผู้ประกอบการจะต้องจัดเที่ยวเดินรถทั้งสิ้น 53 เที่ยวต่อวัน โดยใช้รถโดยสารจำนวน 5 คันให้บริการตามกำหนดการเดินรถที่แสดงไว้ จะทำให้ผู้ประกอบการได้รับผลกำไรมากที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ผลกระทบในด้านการเงินของผู้ประกอบการในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

การประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์

บทนี้จะกล่าวถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้ประกอบการและผู้โดยสารและผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำระบบ RFID และเครื่องจำหน่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางเดินรถโดยสารประจำทาง รวมทั้งผลการปรับเปลี่ยนตารางการเดินรถของเส้นทางการเดินรถโดยสารประจำทางสาย17 (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี – หัวทะเล) ที่ได้ทำการคัดเลือกเพื่อเป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยหัวข้อในการนำเสนอมีดังต่อไปนี้

4.1 ผลกระทบต่อผู้ประกอบการ

4.1.1 ค่าใช้จ่ายในการเดินรถ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงผลกระทบต่อผู้ประกอบการของการนำเอาระบบ RFID และระบบเครื่องจำหน่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติมาใช้เพื่อการจัดเที่ยวเดินรถ การศึกษานี้จะเน้นไปที่ต้นทุนในการประกอบกิจการเดินรถโดยสารประจำทาง และผลประกอบการของผู้ประกอบการเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17 การศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งค่าใช้จ่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายผันแปร

ค่าใช้จ่ายคงที่ หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการจัดหารถ ค่าเช่าสำนักงาน ค่าจ้างผู้บริหาร ค่าจ้างพนักงาน ค่าสัมปทานเส้นทาง ค่าภาษี ค่าประกันภัย และค่าใช้จ่ายภายในสำนักงาน ซึ่งได้จากการสอบถามผู้ประกอบการเดินรถสาย 17 คือ บริษัทพฤกษาเดินรถจำกัด มีรายละเอียดสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (บาทต่อเดือน) สำหรับการบริหารกิจการเดิน

ค่าใช้จ่ายผันแปร หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการใช้งานรถ ซึ่งขึ้นกับประเภทรถและปริมาณการใช้รถประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่นต่าง ๆ ค่ายาง และค่าซ่อมบำรุง ซึ่งจะถูกนำมาคำนวณหาต้นทุนผันแปรต่อหน่วยระยะทาง (บาทต่อกิโลเมตร) รายละเอียดในการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข

ผลการศึกษาสามารถสรุปออกมาเป็น ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดหารถที่รวมค่าเสื่อมและดอกเบี้ยเข้าด้วยกัน ของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ ขนาดเล็ก เท่ากับ 470 บาทต่อคันต่อวัน สำหรับ

ค่าใช้จ่ายในการใช้รถโดยสารประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก ต่อระยะทางเดินรถเท่ากับ 5.70 บาทต่อกิโลเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับตัวรถโดยสารประจำทาง

ข้อมูลเกี่ยวกับตัวรถ	รถโดยสารปรับอากาศ สาย 17
ราคารถใหม่ (บาทต่อคัน)	1,000,000
ความยาวรถ (ฟุต)	30.00
ขนาดรถ (ล้อ)	6
น้ำหนักรถ (ตัน)	4.5
จำนวนที่นั่ง	28
อายุเฉลี่ยของรถ (ปี)	7
อายุการใช้งานของรถ (ปี)	10

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายคงที่ในสำนักงาน

รายการค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าเช่าสำนักงาน ต่อเดือน[1]	20,000.00
ค่าจ้างผู้บริหาร ต่อเดือน[1]	20,000.00
ค่าจ้างพนักงานในสำนักงาน ต่อคนต่อเดือน[1]	3,500.00
ค่าจ้างนายตรวจ ต่อคนต่อเดือน[1]	3,000.00
ค่าจ้างพนักงานขับรถ ต่อคนต่อเดือน[1]	3,000.00
ค่าน้ำ ต่อเดือน[1]	1,200.00
ค่าไฟ ต่อเดือน[1]	3,000.00
ค่าโทรศัพท์ ต่อเดือน[1]	1,200.00
ค่าสัมปทาน ต่อเส้นทางต่อ 7ปี [1]	7,000.00
ค่าภาษีของรถโดยสารปรับอากาศ ต่อคันต่อปี [2]	2,500.00
ค่าประกันภัยรถโดยสารธรรมดา และปรับอากาศ ต่อคันต่อปี[2]	4,989.00
ค่าดอกเบี้ย (ร้อยละ)[3]	12.00

หมายเหตุ [1] บริษัทพฤษภาเดินรถจำกัด

[2] สำนักงานขนส่งจังหวัดนครราชสีมา

[3] กำหนดโดยผู้ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.3 เป็นการสรุปค่าใช้จ่ายสำหรับการดำเนินกิจการเดินรถของเส้นทางเดินรถโดยสารสาย 17 ดำเนินการโดยบริษัทพฤษภาเดินรถจำกัด

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าใช้จ่ายของบริษัทเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17

รายการค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท)	จำนวน	เป็นเงิน (บาทต่อเดือน)
ค่าเช่าสำนักงาน ต่อคนต่อเดือน	20,000.00	1	20,000.00
ค่าจ้างผู้บริหารต่อคนต่อเดือน	20,000.00	1	20,000.00
ค่าจ้างพนักงานในสำนักงาน ต่อคนต่อเดือน	*3,500.00*	*1*	*3,500.00*
ค่าจ้างนายตรวจ ต่อคนต่อเดือน	3,000.00	2	6,000.00
ค่าจ้างพนักงานขับรถ ต่อคนต่อเดือน	3,000.00	8	24,000.00
ค่าน้ำต่อเดือน	1,200.00	1	1,200.00
ค่าไฟต่อเดือน	3,000.00	1	3,000.00
ค่าโทรศัพท์ต่อเดือน	1,200.00	1	1,200.00
ค่าสัมปทาน ต่อเส้นทางต่อเดือน	83.33	1	83.33
ค่าภาษีของรถโดยสารปรับอากาศ ต่อคันต่อเดือน	*208.33*	*8*	*1,666.67*
ค่าประกันภัยรถโดยสารปรับอากาศ ต่อคันต่อเดือน	415.75	8	3,326.00
ค่าดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคา บาทต่อคันต่อเดือน	13,791.90	8	110,335.20
ค่าใช้จ่ายสำนักงาน			**54,983.33**
ค่าใช้จ่ายในการจัดหารถโดยสารและพนักงานขับ			**139,327.87**
ค่าใช้จ่ายจากการเดินรถโดยสาร (1098 กม.ต่อวัน ×5.70 บาทต่อกม. × 30 วัน)			**187,758.00**
สรุปค่าใช้จ่ายในการให้บริการเดินรถ			**382,069.20**

จากตารางข้างต้นสรุปได้ว่าบริษัทพฤษภาเดินรถจำกัด ปัจจุบันมีค่าใช้จ่ายในการให้บริการเดินรถสาย 17 เป็นเงินประมาณ 382,069.20 บาทต่อเดือน และจากผลการสำรวจข้อมูลการจัดเก็บรายได้ ระหว่างวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2550 ถึงวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2550 พบว่าบริษัทมีรายได้จากการเก็บค่าโดยสารเฉลี่ยวันละ 14,120 บาท คิดเป็น 423,600 บาทต่อเดือน ดังนั้นสามารถสรุปผลประกอบการของบริษัทเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17 ได้ว่ามีกำไรสุทธิเดือนละ 41,531.20 บาท

หากบริษัทมีการนำเทคโนโลยีของ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการเดินรถโดยสารสาย 17 ด้วยการจัดเที่ยวเดินรถใหม่ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองจัดตารางเดินรถของสาย 17 ใหม่ สรุปได้ว่ามีความเปลี่ยนแปลงของจำนวนรถโดยสารที่จำเป็นต้องใช้ ซึ่งปัจจุบันมีจำนวน 8 คัน เหลือเพียง 5 คัน เป็นรถที่ใช้จริงในแต่ละวัน 5 คัน โดยสามารถลดต้นทุนในการจัดหารถให้กับผู้ประกอบการ และสามารถลดจำนวนเที่ยวเดินรถจากปัจจุบันมีเที่ยวเดินรถ 55 เที่ยวต่อวัน เหลือ 53 เที่ยวต่อวัน โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดหารถพร้อมพนักงานขับรถเป็นเงิน 17,415.97 บาทต่อคันต่อเดือน และค่าใช้จ่ายในการเดินรถโดยสารปรับอากาศขนาด 28 ที่นั่ง มีค่าเท่ากับ 5.70 บาทต่อกิโลเมตร ระยะทางเดินรถต่อเที่ยว 25.6 กิโลเมตร โดยสามารถสรุปผลกระทบของผู้ประกอบการเดินรถสาย 17 จากการจัดเที่ยวเดินรถใหม่ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปผลกระทบต่อผู้ประกอบการเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17

หน่วย: บาท ต่อ ปี

	สภาพปัจจุบัน	**จัดเที่ยวเดินรถใหม่**	**เปลี่ยนแปลง**
1. ต้นทุนการจัดหารถ	1,671,934	1,044,958	**626,976**
2. ต้นทุนในการเดินรถ	2,284,389	2,177,868	**106,521**
รวมเป็นเงิน	**3,956,323**	**3,222,826**	**733,497**

จากตารางข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า จากสภาพปัจจุบันผู้ประกอบการเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17 จะมีต้นทุนในการประกอบการถึงปีละ 3.95 ล้านบาท หากมีการบริหารจัดการเดินรถใหม่ด้วยวิธีการที่นำเสนอจะ สามารถลดเที่ยวเดินรถ และจำนวนรถโดยสารที่ใช้เพื่อการเดินรถลงได้โดยมีต้นทุนในการเดินรถปีละ 3.22 ล้านบาท ทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนในการเดินรถได้ถึงปีละ 0.73 ล้านบาท

4.1.2 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ RFID

Levinson [13] ได้ทำการศึกษาถึงค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ต่างๆ ในการติดตั้งระบบ RFID บนรถโดยสารเพื่อการแสดงตำแหน่งของรถโดยสารที่ป้ายหยุดรับส่ง โดยมีค่าใช้จ่ายต่อคันประมาณ 2,700 เหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 100,000 บาทต่อคัน โดยมีรายการค่าใช้จ่ายในการติดตั้งจอแสดงผลการเดินรถ อุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงการติดตั้ง แสดงไว้ในดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการแสดงตำแหน่งรถโดยสารด้วยระบบ RFID

รายการ (RFID)	**ราคา**
Host computer	$3,000
Decoder	$1,500 / bus
High Speed modem	$600/bus
RF antennas	$600/bus
ASGI Tag	$17 - $25 / tag
Installation	$12 /tag
Display unit	$1500/unit
Signposts	$300/unit
Signposts receiver	$1000/unit
Installation	$300/sign post

แม้ว่าราคาข้างต้นจะเป็นราคากว่า 15 ปี แต่ปัจจุบันเทคโนโลยี RFID ในประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มแรกของการพัฒนา ทำให้ราคาของอุปกรณ์ต่างๆ นั้นยังคงมีราคาที่สูงอยู่ สำหรับอุปกรณ์ในการแสดงตำแหน่งของรถโดยสารประจำทางและป้ายแสดงข้อมูลสำหรับผู้ใช้บริการนั้นล้วนเป็นอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในการศึกษานี้จึงขอนำค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 มาใช้ประกอบการวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายในการลงทุนของระบบ RFID

สำหรับรถโดยสารประจำทางสาย 17 ของบริษัทพฤษภาเดินรถจำกัด จากการศึกษาด้านโครงข่ายและตำแหน่งที่ติดตั้งป้ายแสดงข้อมูลสำหรับผู้ใช้บริการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3 จะมีจำนวนป้ายหยุดรับส่งที่ต้องติดอุปกรณ์เพื่อการแสดงข้อมูลให้กับผู้ใช้บริการจำนวนทั้งสิ้น 8 จุด แต่จะมีรถโดยสารสายต่างๆ ร่วมใช้บริการอยู่ ดังนั้นการประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแต่ละจุดบริการจึงต้องนำเอาจำนวนเส้นทางเดินรถโดยสารที่วิ่งซ้อนทับจุดบริการเหล่านั้นมาช่วยในแบ่งค่าใช้จ่ายออกไปด้วย ดังรายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ RFID สำหรับรถโดยสารประจำทางสาย 17 กรณีที่ไม่มีเส้นทางอื่นช่วยแบ่งจ่ายมีค่าประมาณ 868,000 บาท และค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดเก็บข้อมูลและประมวลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์คิดเป็นเงิน 105,000 บาทต่อบริษัท ซึ่งการศึกษานี้กำหนดให้อายุของโครงการประมาณ 5 ปี หากคิดเป็นเงินลงทุนต่อปีโดยที่ไม่มีการแบ่งปันค่าใช้จ่ายให้กับเส้นทางเดินรถอื่นเลย เงินลงทุนในระบบ RFID ของเส้นทางเดินรถโดยสารสาย 17 จะมีค่าประมาณ 422,035 บาทต่อปี

4.2 ผลกระทบต่อผู้โดยสาร

หากมีการปรับปรุงเที่ยวหรือตารางการเดินรถโดยสาร ประกอบกับการแสดงข้อมูลการเดินรถแบบทันกาล (Real Time) นั้นจะมีผลกระทบต่อผู้โดยสารที่ใช้รถโดยสารเป็นประจำคือ ระยะเวลารอคอยที่เปลี่ยนแปลงไป ในการศึกษานี้สามารถวิเคราะห์หาระยะเวลารอคอยรถและมูลค่าของเวลารอคอยได้ในหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 ตามลำดับ

4.2.1 ระยะเวลารอคอยรถของผู้โดยสาร

จากข้อมูลที่ได้สำรวจระยะเวลาห่างในการปล่อยรถโดยสารประจำทางในแต่ละสาย สามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาค่า เฉลี่ยของเวลาห่างในการปล่อยรถ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้โดยสารในแต่ละเส้นทางเดินรถ ตามสมการที่ 4.1 โดยผลการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

$$E(w)=\frac{E(h)}{2}\left[1+\frac{Var(h)}{E^2(h)}\right] \qquad (4.1)$$

โดยที่ E(w) = ค่าเฉลี่ยในการรอคอย

E(h) = ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ

Var(h) = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ

$E^2(h)$ = ค่ากำลังสองของค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างในการปล่อยรถ

ตารางที่ 4.6 ระยะเวลารอคอยรถเฉลี่ยของผู้โดยสารรถโดยสารประจำทางสาย 17

หน่วย: นาที/คน-เที่ยว

สายที่	การเดินรถในปัจจุบัน			การเดินรถแบบใหม่			Δ E(w)
	E(h)	SD	E(w)	E(h)	SD	E(w)	
17 (มทส. - หัวทะเล)	29.7	10.5	14.9	30.0	0.0	15.0	-0.1
17 (หัวทะเล - มทส.)	28.8	12.9	14.7	31.5	9.0	15.9	-1.2

หมายเหตุ E(h) = Average Headway

SD = Standard Deviation

E(w) = Average Waiting Time

Δ E(w) = ค่าผลต่างของ Average Waiting Time ที่เปลี่ยนแปลงไป

สำหรับเส้นทางเดินรถสาย 17 เมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพการบริการด้วยการจัดเที่ยวเดินรถให้มีประสิทธิภาพ จะเห็นว่าเกิดความเปลี่ยนแปลงต่อระยะเวลารอคอยที่น้อยมาก อันเนื่องมาจากปัจจุบันเส้นทางสาย 17 มีการปล่อยรถโดยสารที่สม่ำเสมอ การจัดเที่ยวเดินรถใหม่จึงไม่กระทบต่อผู้โดยสารมากนัก จากตารางที่ 4.6 ระยะเวลาในการรอคอยเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทางสายที่ 17 มีค่าประมาณ 15นาที นั่นหมายความว่า หากผู้โดยสารพลาดเที่ยวเดินรถก่อนหน้าจะต้องเสียเวลารอรถอย่างน้อย 15 นาที รถเที่ยวถัดมาจึงจะมาถึงป้าย ซึ่งเป็นเวลาที่นานมาก ตาม Transit Capacity and Quality Manual [4] ระบุไว้ว่า หากการบริการรถโดยสารประจำทางมีการปล่อยรถระยะห่างมากกว่า 10 นาที ผู้โดยสารจำเป็นต้องทราบกำหนดการเดินรถ หรือตารางเวลาเดินรถที่จะมาถึงยังป้ายโดยสาร สำหรับการศึกษาครั้งนี้ การเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17 มีค่า LOS เท่ากับ Level D โดยการบริการยังไม่สามารถเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับกลุ่มผู้ที่สามารถเดินทางด้วยรูปแบบอื่น

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำเอาระบบ RFID และป้ายแจ้งข้อมูลระยะเวลาที่รถโดยสารจะเข้าถึงป้ายมาใช้ในการปรับปรุงการให้บริการเดินรถ จะทำให้ผู้โดยสารทราบกำหนดเวลาเดินรถที่จะมาถึงป้ายโดยสาร อันทำให้ลดระยะเวลารอคอยที่สูญเสียไปโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ของผู้โดยสารลดลงได้มากกว่าที่คำนวณไว้ในตารางที่ 4.6 แต่การศึกษานี้จะประมาณระยะเวลารอคอยที่ลดลงของผู้โดยสารเท่ากับผลต่างของระยะเวลารอคอยเดิมก่อนปรับปรุงกับครึ่งหนึ่งระยะเวลารอคอยเฉลี่ยเมื่อมีการปรับปรุงเท่านั้น ซึ่งมีค่าประมาณ 7 นาทีต่อคน-เที่ยว และจะถูกนำไปคิดเป็นมูลค่าของเวลารอคอยที่ประหยัดได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2.2

4.2.2 มูลค่าของเวลารอคอยของผู้โดยสาร

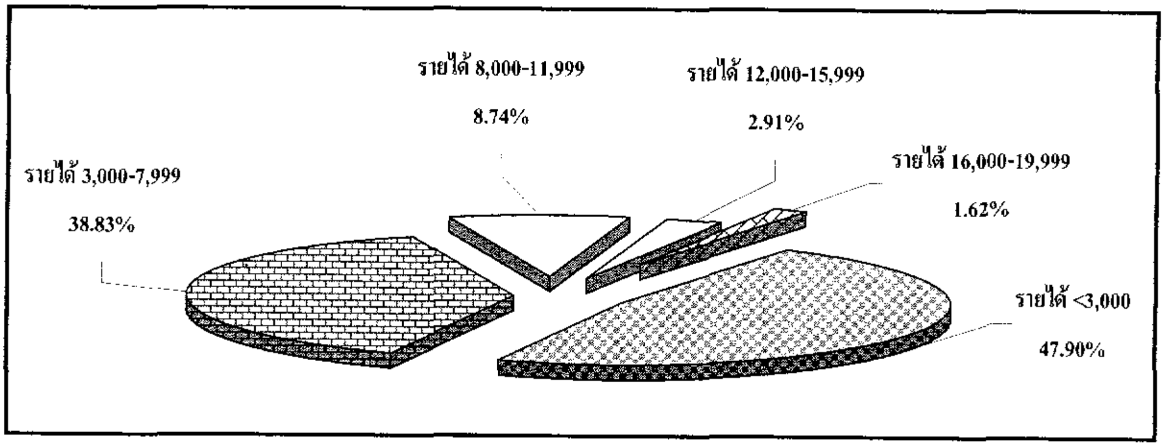
ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์หามูลค่าของเวลารอคอยของผู้โดยสารต่อชั่วโมง โดยอาศัยฐานการคำนวณจาก ข้อมูลรายได้ในการประกอบอาชีพต่อเดือนของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง และระยะเวลาในการปฏิบัติงานตามความเป็นจริง คือทำงานเดือนละ 22 วัน เวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณหามูลค่าของเวลารอคอยโดยเฉลี่ยได้ดังสมการที่ 4.2

$$V_w = \frac{E(S)}{(22 \times 8)} \qquad (4.2)$$

โดยที่ E(S) = รายได้ผู้โดยสารเฉลี่ยต่อเดือน

V_w = มูลค่าของเวลารอคอยของผู้โดยสารต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.1 แสดงรายได้ของผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางในเขตพื้นที่ศึกษา ที่ได้จากการสอบถามจำนวน 250 ชุด ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่เป็นนักเรียนนักศึกษา และผู้ประกอบอาชีพลูกจ้างหรือพนักงานบริษัท ผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางส่วนมากจึงมีรายได้น้อยกว่า 8,000 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 86.73 โดยมีรายได้น้อยกว่า 3,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 47.89 รองลงมามีรายได้อยู่ระหว่าง 3,000 – 7,999 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 38.83 เมื่อคิดเป็นรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางในพื้นที่ศึกษานี้ต่อคน มีค่าเท่ากับ 4,426 บาทต่อเดือน



รูปที่ 4.1 รายได้ของผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางในพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลข้างต้น ผลการวิเคราะห์มูลค่าเวลารอคอยของผู้โดยสารในพื้นที่ศึกษา โดยอาศัยฐานคำนวณจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการ สามารถสรุปได้ว่า มูลค่าเวลารอคอยของผู้ใช้บริการจะมีค่าเท่ากับ 25.15 บาทต่อชั่วโมง

จากข้อมูลในหัวข้อ 4.2.1 ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยที่ลดลงของผู้โดยสารจากการปรับปรุงการบริการด้วยการนำระบบ RFID มาใช้ในการบอกระยะเวลาที่รถโดยสารเข้าถึงป้าย มีค่าลดลงประมาณ 7 นาทีต่อคน-เที่ยว สามารถนำมาคิดคำนวณเป็นมูลค่าผลกระทบของผู้โดยสารจากการประหยัดเวลารอคอยที่ป้ายได้เท่ากับ 2.93 บาทต่อคน-เที่ยว และจากการสำรวจจำนวนผู้โดยสารสาย 17 จะมีผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1,143 คน นำมาคิดเป็นมูลค่าผลกระทบของเวลารอคอยรถของผู้โดยสารที่ป้ายที่น้อยลงเป็นเงินต่อปีเท่ากับ 1.22 ล้านบาท

4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อผู้ประกอบการและต่อผู้ใช้บริการ จากการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ ด้วยการนำเอาเทคโนโลยี RFID มาช่วยในการจัดเก็บค่าโดยสาร และนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการจัดเที่ยวเดินรถให้มีความเหมาะสม รวมทั้งระบบให้ข้อมูลข่าวสารที่จำเป็นสำหรับผู้ใช้บริการที่จุดหยุดรับส่ง อันเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการในการจัดการเดินรถ และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสำหรับลงทุนระบบ RFID ซึ่งคำนวณไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 และเกิดผลดีต่อผู้ใช้บริการในการลดเวลารอคอยที่สูญเปล่า ณ ป้ายหยุดรับส่ง ซึ่งมูลค่าผลกระทบคำนวณไว้ในหัวข้อ 4.2.2 จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับจากระบบ สามารถสรุปเป็นรายการผลกระทบ และมูลค่าของผลกระทบต่างๆ แยกตามกลุ่มผู้ได้รับผลกระทบ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลกระทบจากการใช้ระบบ RFID

หน่วย: บาท/ปี

รายการ	ผู้ประกอบการ	ผู้ใช้บริการ	รวม
1. ค่าใช้จ่ายในการจัดการเดินรถที่ลดลง	+733,479		733,479
2. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ RFID	-422,035		-422,035
3. มูลค่าระยะเวลารอคอยที่ลดลงของผู้โดยสาร		+1,222,381	1,222,381
รวม	**311,444**	**1,222,381**	**1,533,825**

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การนำเอาเทคโนโลยี RFID มาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการเดินรถของผู้ประกอบการ และการให้ข้อมูลข่าวสารการเดินรถแก่ผู้ใช้บริการ จะเกิดผลดีต่อผู้ประกอบการเองในแง่ของการลงทุน คือ มีผลกำไรต่อปีคิดเป็นเงินประมาณ 0.31 ล้านบาท ส่วนผู้ใช้บริการเองจะได้รับผลประโยชน์โดยตรงจากการประหยัดเวลาคิดเป็นมูลค่าเงิน 1.22 ล้านบาท โดยภาพรวมทางการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์จะเกิดผลประโยชน์โดยรวมเท่ากับ 1.53 ล้านบาทต่อปี ทั้งนี้การคำนวณรายได้ และมูลค่าของระยะเวลาที่ลดลงของผู้โดยสาร กระทำภายใต้เงื่อนไขจำนวนผู้โดยสารคงที่ โดยอาศัยสมมติฐานที่ว่าผู้โดยสารรถโดยสารประจำทางนั้นเป็นกลุ่มคนที่ไม่มีทางเลือกอื่นในการเดินทาง ซึ่งยังมิได้วิเคราะห์ถึงระดับการเปลี่ยนแปลงความต้องการในการเดินทางของผู้ใช้บริการที่อาจเปลี่ยนแปลงตามคุณภาพการให้บริการของรถโดยสารประจำทางที่ดีขึ้น ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการในรูปแบบอื่นหันมาใช้รถโดยสารประจำทางมากขึ้น ซึ่งต้องทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งด้านราคา เวลาในการเดินทางประกอบด้วย

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำเสนอแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ มาใช้ในการเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการบริหารการเดินรถ อีกทั้งการติดตั้งระบบบอกตำแหน่งของรถโดยสารประจำทาง ระยะเวลาที่จะเดินทางยังจุดหยุดรับส่ง อันก่อให้เกิดประโยชน์โดยตรงแก่ผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางในการลดระยะเวลารอคอยที่สูญเปล่า ณ ป้ายหยุดรับส่ง โดยการศึกษานี้ได้นำวิธีการสำหรับการจัดความถี่ในการเดินรถให้ผู้ประกอบการเดินรถ ด้วยการใช้วิธีการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นในการกำหนดจำนวนเที่ยวเดินรถโดยสารในแต่ละช่วงเวลา และทราบจำนวนรถโดยสารที่ต้องใช้สำหรับการให้บริการตามจำนวนเที่ยวที่กำหนด โดยใช้ต้นทุนในการเดินรถน้อยที่สุด เพื่อให้ผู้ประกอบการได้รับผลกำไรจากการเดินรถสูงสุด ซึ่งผลลัพธ์ของวิธีการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นนั้นถูกนำมาวิเคราะห์ให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการปรับเปลี่ยนการเดินรถ ที่สัมพันธ์กับปริมาณความต้องการจากข้อมูลที่จะสามารถเก็บได้จากสภาพการให้บริการในปัจจุบัน

สำหรับกรณีศึกษาที่ได้คัดเลือกมาใช้สำหรับการศึกษานี้ ได้พิจารณาคัดเลือกมา 1 เส้นทาง ซึ่งมีคุณภาพการให้บริการในแง่ของความน่าเชื่อถือดีอยู่แล้ว มีความสม่ำเสมอในการปล่อยรถ ผลประกอบการค่อนข้างดี เมื่อทดลองนำวิธีกำหนดเที่ยวในการเดินรถมาใช้เพื่อให้การเดินรถมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถลดต้นทุนในการเดินรถของผู้ประกอบการลงได้ถึง 0.7 ล้านบาทต่อปี โดยที่คุณภาพการให้บริการในด้านของความแออัดของผู้โดยสาร และระยะเวลารอคอยรถนั้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงทำให้มีระดับการให้บริการที่ดีเช่นเดิม และหากผู้ประกอบการนำเอาระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติมาใช้เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนเที่ยวการเดินรถให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอและมีระบบข้อมูลข่าวสารของการเดินรถแบบทันการณ์ (Real-time Passenger Information) ที่คอยแจ้งเวลารถมาถึงป้ายหยุดรับส่งด้วยนั้น จะทำให้ผู้โดยสารได้รับผลกระทบในแง่ของการลดระยะเวลารอคอยที่สูญเปล่าลงคิดเป็นมูลค่าเงินถึงกว่าปีละ 1.22 ล้านบาท เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้านการเงินโดยรวมเงินลงทุนที่ผู้ประกอบการต้องใช้ในการนำระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติมาใช้ จะทำให้ผู้ประกอบการยังคงเหลือกำไรเฉลี่ย 0.31 ล้านบาทต่อปี จะเกิดผลประโยชน์โดยรวมทางด้านเศรษฐศาสตร์ 1.53 ล้านบาทต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาต่อไป

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาต่อไปได้ดังนี้

1. การศึกษานี้เป็นเพียงการนำเสนอถึงความเป็นไปได้ของการนำเอาเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันมาใช้ในการบริหารจัดการเดินรถให้ดีขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์จะกำหนดให้ปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการนั้นไม่มีความเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกลุ่มผู้ใช้บริการที่ได้จากการสำรวจครั้งนี้ไม่มีทางเลือกในการเดินทางมากนัก หากในการวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนั้นจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณผู้ใช้บริการเมื่อมีการดำเนินโครงการแล้วตลอดอายุโครงการ ซึ่งการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้ใช้บริการจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ รวมทั้งคุณภาพการให้บริการที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเพื่อความถูกต้องของการลงทุนควรมีการศึกษาผลกระทบของปริมาณผู้ใช้บริการที่เปลี่ยนแปลงจากการปรับเปลี่ยนการให้บริการ และระบบการแจ้งข้อมูลข่าวสารการเดินทางประกอบการพิจารณาต่อไป

2. การศึกษานี้ได้นำเสนอโปรแกรมแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นสำหรับการจัดเที่ยวเดินรถโดยสารประจำทาง ที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณผู้โดยสารที่จะได้รับจากการนำเอาระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติและระบบ RFID มาใช้ ซึ่งได้กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นในการประมวลผลอันจะทำให้ผู้ประกอบการได้ผลกำไรสูงสุด แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณภาพในการให้บริการทางด้านเวลารอคอยรถ และจำนวนที่นั่งอันเพียงพอต่อผู้ใช้บริการ สำหรับการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปในการประมวลผลนั้น ยังจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาต่อไป ซึ่งต้องได้รับเงินสนับสนุนในการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบ RFID และระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ เพื่อทดลองติดตั้งจริงกับตัวรถและสถานีหยุดรับส่ง ในการเก็บข้อมูล และการเชื่อมต่อข้อมูล การนำข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์ที่ได้ รวมทั้งจัดทำตารางการปฏิบัติงานของรถโดยสารแต่ละคันต่อไป

บรรณานุกรม

1. Ceder A. and Wilson N.. (1997). Public Transport Operation Planning. In Charles R. and Arthur E.M.. Design and Operation of Civil and Environmental Engineering System. John Willey & Sons. New York. pp. 395-429.

2. Giannacopoulos, A. 1982. Optimization Algorithms for Mass Transportation Networks. Doctor of Engineering Thesis. Imperial College of Science and Technology. University of London. England.

3. Transportation Research Board. 1999. Transit Capacity and Quality of Service Manual (Online): Available URL:http:// onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_webdoc_6-d.pdf.

4. Bali Urban Infrastructure Project (BUIP). (1999). Bali Public Transport Study. Report TR03: Transport Deficiencies and Proposals. Dorsch Consult (for The World Bank). pp. 1-3.

5. ชรัด พิริยะวัฒน์. 2543. ความพึงพอใจของผู้เดินทางด้วยรถโดยสารประจำทาง และการยอมรับของผู้เดินทางต่อระบบขนส่งสาธารณะแบบก้าวหน้าในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

6. Transportation Research Board. 2000. Traveler Response to Transportation System Changes (Online). Available URL:http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_webdoc_12.pdf.

7. Holland, D.K.. (1974). A Review of Reports Relating to the Effects of Fare and Service Changes in Metropolitan Public Transportation Systems. Center for Urban Programs. St. Louis University. St. Louis, MO. pp. 31-33.

8. Wolinsky J.. (1998) Setting Transit Industry Standard, Santa Monica Municipal Bus Lines, Bus ride. Vol.34 no.3. p. 5.

9. SG Associates, Inc. and Transportation Behavior Consultants. (1982). Marketing Routes and Schedules Study for Charlottesville. Virginia Final Report. Annandale. VA. pp. 3-4.

10. Stopher, P.R.. (1993). Development of Bus Operating Cost Allocation Model Compatible with UMTA Urban Transportation Planning System Model. Transportation Research Record. No. 1108. pp. 31-41.

11. รัชนี นันทวัฒนาศิริชัย. 2540. ระบบรถโดยสารประจำทางในเขตเมืองพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

12. Bowman, L.A. and Turnquist, M.A.. (1981). Service Frequency, Scheduling Reliability and Passenger Waite times at Transit Stop. Transportation Research. Vol. 15A. pp. 465-471.

13. Levisson, H. S. (1991). Supervision Strategies for Improved Reliability of Bus Routes. Transit Cooperative Research Program. Synthesis of Transit Practice 15. Transportation Research Board. National Research Council: Washington, D.C.

14. Benn, H. (1995). Bus Route Evaluation Standards. Transit Cooperative Research Program. Synthesis of Transit Practice 10. Transport Research Board. National Research Council: Washington, D.C.

15. ศูนย์พัฒนาธุรกิจออกแบบวงจรรวม. (2549). รู้จักกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: ปทุมธานี.

ภาคผนวก ก

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID

ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

เรื่อง การใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification : RFID

โดยที่เป็นการสมควรให้ประชาชนสามารถใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification : RFID เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้เทคโนโลยี RFID ซึ่งมีบทบาทและความสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุน อำนวยความสะดวก และเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางทั้งในภาคเกษตรกรรม การขนส่ง การส่งออก และอุตสาหกรรมของประเทศ เป็นต้น

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ วรรคสอง และมาตรา ๑๑ วรรคสี่ แห่งพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. ๒๔๙๘ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๓๕ ประกอบมาตรา ๕๑ (๓) และมาตรา ๗๘ แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๔ มาตรา ๓๗ มาตรา ๓๙ มาตรา ๔๐ มาตรา ๔๑ มาตรา ๔๕ มาตรา ๕๐ และมาตรา ๕๗ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย จึงกำหนดการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ดังนี้

๑. คลื่นความถี่

คลื่นความถี่ ๙๒๐ – ๙๒๕ เมกะเฮิรตซ์ หรือตามที่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติกำหนด ต่อไป

๒. กำลังส่ง

กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power : e.i.r.p.) ไม่เกิน ๔ วัตต์ เว้นแต่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เห็นควรกำหนดเป็นอย่างอื่นแล้วแต่กรณี

๓. ใบอนุญาตวิทยุคมนาคม

๓.๑ เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) ซึ่งมีกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power : e.i.r.p.)

ไม่เกิน ๐.๕ วัตต์ ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต มี ใช้ และนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และใบอนุญาตตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

๓.๒ เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ชนิดทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตทำ มี ใช้ นำเข้า นำออก และค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และใบอนุญาตตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

๔. มาตรฐานทางเทคนิค

เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) จะต้องผ่านการทดสอบรับรองตัวอย่างเครื่องวิทยุคมนาคมจากสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือจากห้องปฏิบัติการทดสอบรับรองมาตรฐานเครื่องวิทยุคมนาคมที่ยอมรับได้

๕. สิทธิการคุ้มครอง

การใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID เป็นกิจการรอง (Secondary Service) ไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวนจากผู้อื่น หากก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้คลื่นความถี่ของข่ายสื่อสารวิทยุคมนาคมอื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ผู้ใช้ต้องระงับการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม RFID ที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นทันที

๖. ประกาศนี้มีผลใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๒๐ มกราคม พ.ศ. ๒๕๔๙
พลเอก ชูชาติ พรหมพระสิทธิ์
ประธานกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

ว่าด้วยมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์

เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID

โดยที่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติได้อนุญาตให้ประชาชนใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้เทคโนโลยี RFID ซึ่งมีบทบาทและความสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุน อำนวยความสะดวก และเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ซึ่งจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคให้เหมาะสมต่อสภาพการณ์ทางเทคโนโลยี เพื่อให้เครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์มีมาตรฐานทางเทคนิคที่ชัดเจน สามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน รวมทั้งเพื่อปกป้องคุ้มครองผู้บริโภคอีกทางหนึ่งด้วย อันจะเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมโทรคมนาคมในภาพรวม และเพื่อให้มาตรฐานทางเทคนิคของประเทศมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดของสากลมากขึ้น

อาศัยอำนาจตามมาตรา ๒๕ (๔) แห่งพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. ๒๔๙๘ และที่แก้ไขเพิ่มเติม ประกอบกับมาตรา ๗๘ วรรคหนึ่ง แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. ๒๕๔๓ คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติในการประชุมครั้งที่ ๔๑/๒๕๔๙ เมื่อวันที่ ๒๙ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๔๙ จึงเห็นชอบให้ประกาศกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์เกี่ยวกับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ไว้ ดังมีรายละเอียดตามมาตรฐานเลขที่ กทช. มท. ๑๐๑๐ - ๒๕๔๙ แนบท้ายประกาศนี้

ประกาศนี้มีผลใช้บังคับตั้งแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๔๙
พลเอก ชูชาติ พรหมพระสิทธิ์
ประธานกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์

กทช. มท. 1010 – 2549

เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท

Radio Frequency Identification: RFID

สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
87 ถนนพหลโยธิน ซอย 8 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400
โทร. 0 2271 0151-60 เว็บไซต์: www.ntc.or.th

มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์
เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID

1. ขอบข่าย

มาตรฐานทางเทคนิคนี้ ระบุลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำสำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 13.553-13.567 MHz 433.05 – 434.79 MHz และ 920 - 925 MHz หรือย่านความถี่วิทยุอื่นตามที่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติประกาศกำหนด

2. มาตรฐานทางเทคนิค

2.1 มาตรฐานทางเทคนิคด้านคลื่นความถี่ (Radio Frequency Requirements)

2.1.1 ย่านความถี่วิทยุใช้งาน 13.553-13.567 MHz

มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 13.553-13.567 MHz มีดังต่อไปนี้

1) กำลังส่งสูงสุด (maximum transmit power) จะต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

กำลังส่งสูงสุด	เงื่อนไข
10 mW (e.i.r.p.)	ได้รับยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคม
1 W (e.i.r.p.)	ต้องได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง

<u>หมายเหตุ</u> ใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้น ได้แก่ ใบอนุญาตให้ทำ มี ใช้ นำเข้า นำออก และค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

2) ลักษณะทางเทคนิคภาคส่ง และภาครับ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งดังต่อไปนี้

2.1) ETSI EN 300 330-1 : Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment in the frequency range 9 kHz to 25 MHz and inductive loop systems in the frequency range 9 kHz to 30 MHz;
Part 1: Technical characteristics and test methods

2.2) ETSI EN 302 291-1 : Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Close Range Inductive Data Communication equipment operating at 13,56 MHz;
Part 1: Technical characteristics and test methods

2.3) FCC Part 15.225 : Code of Federal Regulations (USA); Title 47 Telecommunication; Chapter 1 Federal Communications Commission; Part 15 Radio Frequency Devices; Subpart C – Intentional Radiators; § 15.225 Operation within the band 13.110–14.010 MHz

2.1.2 ย่านความถี่วิทยุใช้งาน 433.05 – 434.79 MHz

มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 433.05 – 434.79 MHz มีดังต่อไปนี้

1) กำลังส่งสูงสุด (maximum transmit power) จะต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

กำลังส่งสูงสุด	เงื่อนไข
10 mW	ได้รับยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคม

หมายเหตุ ใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้น ได้แก่ ใบอนุญาตให้ทำ มี ใช้ นำเข้า นำออก และค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

2) ลักษณะทางเทคนิคภาคส่ง และภาครับ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานดังต่อไปนี้

2.1) ETSI EN 300 220-1 : Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 1: Technical characteristics and test methods

2.1.3 ย่านความถี่วิทยุใช้งาน 920 - 925 MHz

มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 920 - 925 MHz มีดังต่อไปนี้

1) กำลังส่งสูงสุด (maximum transmit power) จะต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

กำลังส่งสูงสุด	เงื่อนไข
0.5 W (e.i.r.p.)	ได้รับยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคม
4 W (e.i.r.p.)	ต้องได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง

หมายเหตุ ใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้น ได้แก่ ใบอนุญาตให้มี ใช้ หรือนำออก และใบอนุญาตตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

2) ลักษณะทางเทคนิคภาคส่ง และภาครับ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งดังต่อไปนี้

2.1) FCC Part 15.247 : Code of Federal Regulations (USA); Title 47 Telecommunication; Chapter 1 Federal Communications Commission; Part 15 Radio Frequency Devices; Subpart C – Intentional Radiators; §15.247 Operation within the bands 902–928 MHz, 2400–2483.5 MHz, and 5725–5850 MHz

2.2) ETSI EN 302 208-1 : Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W;
Part 1: Technical requirements and methods of measurement

หมายเหตุ ให้นำมาตรฐาน ETSI EN 302 208-1 มาบังคับใช้กับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 920-925 MHz ได้โดยอนุโลม

2.2 มาตรฐานทางเทคนิคด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า (Electrical Safety Requirements)

มาตรฐานทางเทคนิคด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า ของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานดังต่อไปนี้

2.2.1 IEC 60950 - 1 : Information Technology equipment – Safety – Part 1: General Requirements

2.2.2 มอก. 1561 – 2548 : บริภัณฑ์เทคโนโลยีสารสนเทศ เฉพาะด้านความปลอดภัย: ข้อกำหนดทั่วไป

ภาคผนวก ข

ต้นทุนในการประกอบการเดินรถโดยสารประจำทาง

ค่าใช้จ่ายของระบบ RFID และเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ

ต้นทุนในการประกอบการเดินรถโดยสารประจำทาง

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการขนส่งประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) มีรายละเอียดดังนี้

ข.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)

ค่าใช้จ่ายคงที่ในที่นี้หมายถึงค่าใช้จ่ายในสำนักงาน ค่าสัมปทาน ค่าภาษีและค่าประกันภัย ค่าใช้จ่ายคงที่เป็นค่าใช้จ่ายซึ่งต้องจ่ายไปถึงแม้ไม่มีการใช้งานรถก็ตาม แต่ถ้าระยะทางที่รถโดยสารประจำทางให้บริการมากก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายคงที่ต่อหน่วย (บาท ต่อ กิโลเมตร) ต่ำลงได้ จากการสอบถามบริษัทผู้ประกอบการและการประมาณการโดยผู้ศึกษาสามารถกำหนดจำนวนเงิน เพื่อใช้คิดคำนวณค่าใช้จ่ายได้ ดังตารางที่ ข.1 ดังนี้

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดค่าใช้จ่ายคงที่

รายการ	จำนวนเงิน
ค่าเช่าสำนักงาน (บาท/เดือน)[1]	20,000.00
ค่าจ้างผู้บริหาร (บาท/เดือน)[1]	20,000.00
ค่าจ้างพนักงานในสำนักงาน (บาท/เดือน)[1]	3,500.00
ค่าจ้างนายตรวจ (บาท/เดือน)[1]	3,000.00
ค่าจ้างพนักงานขับรถ (บาท/เดือน)[1]	3,000.00
ค่าน้ำ (บาท/เดือน)[1]	1,200.00
ค่าไฟ (บาท/เดือน)[1]	3,000.00
ค่าโทรศัพท์ (บาท/เดือน)[1]	1,200.00
ค่าสัมปทาน (บาท/เส้นทาง/7ปี) [1]	7,000.00
ค่าภาษีของรถโดยสารปรับอากาศ น้ำหนัก 5.7 ตัน (บาท/คัน/ปี)[2]	2,500.00
ค่าประกันภัยรถโดยสารธรรมดา และปรับอากาศ (บาท/คัน/ปี)[2]	4,989.00
ค่าดอกเบี้ย (ร้อยละ)[3]	12.00

หมายเหตุ [1] บริษัทพฤษภาเดินรถจำกัด
[2] สำนักงานขนส่งจังหวัดนครราชสีมา
[3] กำหนดโดยผู้ทำการศึกษา

โดยการคิดต้นทุนค่าใช้จ่ายคงที่ในการเดินรถโดยสารประจำทาง สำหรับการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย

ข.1.1 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)

การพิจารณาค่าเสื่อมราคาสามารถพิจารณาได้แตกต่างกันไป บางครั้งพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายคงที่หรือเป็นค่าใช้จ่ายที่ขึ้นกับจำนวนการใช้งาน บางครั้งพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายคงที่รายปี ซึ่งค่าเสื่อมราคาส่วนหนึ่งขึ้นกับเวลา (เป็นสนิมหมดสภาพ) อีกส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางวิ่ง (การสึกหรอของรถเนื่องจากการใช้งาน)

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Cost) จะรวมทั้งค่าเสื่อมราคาและดอกเบี้ยไว้ด้วยกัน หรือเรียกว่า "ค่าใช้จ่ายในการจัดหารถรายปี" ซึ่งเป็นการลงทุนโดยจมเงินต้นทุนไว้เฉย ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Y = Ar\{(1+r)^n - s\}\{(1+r)^n - 1\}$$

แต่ในการศึกษานี้ไม่นำเอาดอกเบี้ยมาคิดด้วยโดยถือว่าเป็นการลงทุน ซึ่งความจริงค่าเสื่อมราคาคือค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับตัวรถซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการใช้งาน ดังนั้นจึงคิดแบบเส้นตรง โดยมีรายละเอียดในการคำนวณดังตารางที่ ข.2 ที่แสดงมูลค่าคงเหลือของรถโดยสารประจำทางในแต่ละปี โดยการสอบถามราคาและอายุการใช้งานของรถโดยสารประจำทาง จากผู้ประกอบกิจการเดินรถพบว่า ราคารถโดยสารประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก 28 ที่นั่ง คันละ 1,000,000 บาท โดยมีอายุการใช้งาน 10 ปี

ค่าเสื่อมราคาของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก $= 1{,}000{,}000 \dfrac{1}{10 \times 365}$

= 273.97 บาทต่อคันต่อวัน

ข.1.2 ค่าดอกเบี้ย (Interest)

ค่าดอกเบี้ยเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการซื้อรถ ซึ่งจากการสอบผู้ประกอบกิจการเดินรถพบว่าการซื้อรถของเอกชนจะเป็นแบบผู้จำหน่ายรถหาแหล่งเงินทุนแล้วให้ผู้ซื้อรถทำการผ่อนเอง ในการศึกษานี้จะใช้ดอกเบี้ยร้อยละ 12 ต่อปี และการคิดดอกเบี้ยของรถจะไม่ลดลงตามค่าเสื่อมราคา นั่นคือดอกเบี้ยจะคิดจากเงินต้นเลย ซึ่งแตกต่างจากการซื้อบ้าน จากตารางที่ ข.2สามารถคำนวณหาดอกเบี้ยของรถโดยสารแต่ละชนิดได้ดังนี้

ค่าดอกเบี้ยของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก $= 678{,}026.76 \dfrac{1}{10 \times 365}$

= 185.76 บาทต่อคันต่อวัน

ตารางที่ ข.2 มูลค่าคงเหลือของรถโดยสารประจำทาง (Mini Bus)

ปีที่	มูลค่าคงเหลือ (บาท)	ค่าเสื่อมราคา (บาท)	ค่าดอกเบี้ย (บาท)	ค่าดอกเบี้ยที่ปีปัจจุบัน (บาท)
0	1,000,000	-	-	-
1	900,000	100,000	120,000	107,142.86
2	800,000	100,000	120,000	95,663.27
3	700,000	100,000	120,000	85,413.63
4	600,000	100,000	120,000	76,262.17
5	500,000	100,000	120,000	68,091.22
6	400,000	100,000	120,000	60,795.73
7	300,000	100,000	120,000	54,281.91
8	200,000	100,000	120,000	48,465.99
9	100,000	100,000	120,000	43,273.20
10	-	100,000	120,000	38,636.79
รวม	-	**1,000,000**	**1,200,000**	**678,026.76**

ข.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Running Cost)

ค่าใช้จ่ายผันแปรในที่นี้ หมายถึงค่าใช้จ่ายในการใช้งานรถ ซึ่งจะขึ้นกับประเภทรถและปริมาณการใช้รถ นั่นคือหากมีการใช้รถมากก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย ค่าใช้จ่ายในการใช้รถจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ข.2.1 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Cost)

จากการสอบถามผู้ประกอบกิจการเดินรถ พอสรุปได้ว่า ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก ที่ความเร็ว 20-30 กม./ชม. มีค่าเท่ากับ 0.29 ลิตร/กม.

ส่วนราคาน้ำมันดีเซล เนื่องจากการศึกษานี้สำรวจภาคสนามใน เดือนกุมภาพันธ์ 2550 ราคาน้ำมันที่ผู้ประกอบการเดินรถซื้อไว้เพื่อใช้ตกลิตรละ 23.04 บาท

ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศขนาดเล็ก = (0.22 × 23.04)

= 5.06 บาทต่อกิโลเมตร

ข.2.2 ค่าน้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil)

จากการสอบถามผู้ประกอบกิจการเดินรถ พบว่าการใช้น้ำมันหล่อลื่นมีรายละเอียดดังนี้

ข.2.2.1 น้ำมันเครื่อง

รถโดยสารประจำทางจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องทุกๆ 10,000 กม. ต่อครั้งๆ ละ 19 ลิตร และรถโดยสารสองแถว จะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องทุก ๆ 5,000 กม. ต่อครั้งๆ ละ 7 ลิตร โดยราคาน้ำมันเครื่องโดยเฉลี่ยลิตรละ 40 บาท

ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำมันเครื่องของรถโดยสารปรับอากาศ $= (19\times40) / 10{,}000$

$= 0.08$ บาทต่อกิโลเมตร

ข.2.2.2 น้ำมันเกียร์/น้ำมันเฟืองท้าย

รถโดยสารประจำทางมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเกียร์และน้ำมันเฟืองท้ายทุกๆ 50,000 กม. ต่อครั้งๆ ละ 5 ลิตร โดยราคาน้ำมันเกียร์และน้ำมันเฟืองท้ายเฉลี่ยลิตรละ 45 บาท

ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำมันเกียร์และน้ำมันเฟืองท้าย $= (45\times5) / 50{,}000$

$= 0.004$ บาทต่อกิโลเมตร

ข.2.2.3 น้ำมันเบรก

รถโดยสารประจำทางมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเบรกทุก ๆ 50,000 กม.ต่อครั้งๆ ละ 1 ลิตร โดยราคาน้ำมันเบรกโดยเฉลี่ยลิตรละ 115 บาท

ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำมันเบรก $= (115\times 1) / 50{,}000$

$= 0.002$ บาทต่อกิโลเมตร

ข.2.3 ค่ายาง (Tire Cost)

ผู้ประกอบการใช้ยางยี่ห้อกู๊ดเยียร์หรือบริดสโตน ขนาด 825-16 โดยใช้ยางใหม่จำนวน 2 เส้น และยางหล่อดอกจำนวน 4 เส้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนการขนส่ง โดยยางใหม่ราคาเส้นละ 3,500 บาท ยางหล่อดอกราคาเส้นละ 500 บาท อายุการใช้งานของยางใหม่ที่ใช้วิ่งให้บริการในจังหวัดนครราชสีมาประมาณ 60,000 กม. ส่วนยางหล่อดอกอายุใช้งานประมาณ 30,000 กม.

ค่ายางรถยนต์ของรถโดยสารประจำทาง $= \dfrac{(3{,}500\times2)+(2\times4\times500)}{60{,}000}$

$= 0.18$ บาทต่อกิโลเมตร

ข.2.4 ค่าซ่อมบำรุง (Maintenance Cost)

ค่าซ่อมบำรุงรักษานี้จะรวมค่าอะไหล่และค่าแรง จากการสอบถามผู้ประกอบกิจการเดินรถและรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าจะมีการซ่อมบำรุงรักษารถโดยสารประจำทาง ทุกๆ 10,000 กม. โดยเสียค่าอะไหล่ 3,200 บาท และค่าแรงในการซ่อมต่อครั้ง 600 บาท

ค่าบำรุงรักษาของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ = *(3,200+600)/10,000*

= 0.38 บาทต่อกิโลเมตร

สรุปต้นทุนในการเดินรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ

จากการศึกษาดังกล่าวจะได้ค่าใช้จ่ายในการจัดหารถที่รวมค่าเสื่อมและดอกเบี้ยเข้าด้วยกัน ของรถโดยสารปรับอากาศขนาดเล็กมีค่าเท่ากับ 470 บาทต่อคันต่อวัน ตามลำดับ

สำหรับค่าใช้จ่ายผันแปรในการใช้รถของรถโดยสารประจำทางปรับอากาศขนาดกลาง รถโดยสารปรับอากาศขนาดเล็ก และรถโดยสารสองแถวมีค่าเท่ากับ 5.70 บาทต่อกิโลเมตร

ค่าใช้จ่ายของระบบ RFID และเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ

ค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นหากมีการนำระบบ RFID และเครื่องเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ นั้นมีรายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์และการติดตั้งของระบบ RFID

รายการ (RFID)	ราคา
Host computer	$3,000
Decoder	$1,500 / bus
High Speed modem	$600/bus
RF antennas	$600/bus
ASGI Tag	$17 - $25 / tag
Installation	$12 /tag
Display unit	$1500/unit
Signposts	$300/unit
Signposts receiver	$1000/unit
Installation	$300/sign post

การวิเคราะห์นั้นจะแบ่งออกเป็นค่าอุปกรณ์ที่ต้องใช้ติดตั้งที่ตัวรถโดยสารประจำทาง และค่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งที่จุดหยุดรับส่งผู้โดยสาร รวมทั้งชุดคอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลและประมวลผล โดยกำหนดให้อายุการใช้งานของระบบ RFID นั้นมีอายุเพียง 5 ปี และมูลค่าซากในปีสุดท้ายของเทคโนโลยีสื่อสารจะมีค่าเป็นศูนย์ และการวิเคราะห์จะใช้หลักการคิดเช่นเดียวกับการคิดค่าเสื่อมและค่าดอกเบี้ยของการลงทุนซื้อรถโดยสาร ซึ่งจะเรียกว่า “เงินลงทุนในการจัดหาระบบ RFID” และกำหนดให้อัตราการแลกเปลี่ยนมีค่าเท่ากับ 35 บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ อัตราดอกเบี้ยคิดที่ 12%

ข.3 ค่าเสื่อมและดอกเบี้ยในการจัดหาระบบ RFID

ค่าเสื่อมของระบบ RFID จะประมาณการจากอุปกรณ์ที่จำเป็นในการเดินรถของเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทางสาย 17 ประกอบด้วย อุปกรณ์ติดตั้งที่รถโดยสารจำนวน 5 คัน อุปกรณ์ที่ติดตั้ง ณ จุดหยุดรับส่ง จำนวน8 จุด อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลและประมวลผล 1 ชุด

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนแสดงไว้ในตารางที่ ข.4 และการคำนวณมูลค่าคงเหลือของอุปกรณ์ทั้งหมดในระยะเวลาการใช้งาน 5 ปี ดังตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.4 เงินลงทุนในการจัดหาระบบ RFID

รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน (ชุด)	คิดเป็นเงิน (บาท)
อุปกรณ์ติดตั้งที่รถโดยสาร	100,000	5	500,000
อุปกรณ์ติดตั้ง ณ จุดหยุดรับส่งผู้โดยสาร	108,500	8	868,000
อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลและประมวลผล	105,000	1	105,000
รวมเป็นเงินลงทุนทั้งสิ้น			**1,473,000**

ตารางที่ ข.5 มูลค่าคงเหลือของระบบ RFID

ปีที่	มูลค่าคงเหลือ (บาท)	ค่าเสื่อมราคา (บาท)	ค่าดอกเบี้ย (บาท)	ค่าดอกเบี้ยที่ปีปัจจุบัน (บาท)
0	1,473,000	-	-	-
1	1,178,400	294,600	176,760	157,821
2	883,800	294,600	176,760	140,912
3	589,200	294,600	176,760	125,814
4	294,600	294,600	176,760	112,334
5	0	294,600	176,760	100,298
รวม	**-**	**1,473,000**	**883,800**	**637,179**

จากตารางข้างต้นสามารถคำนวณหา

ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ RFID

$$= 1,473,000 \frac{1}{5 \times 365}$$

= 807.12 บาทต่อวัน

ค่าดอกเบี้ยของอุปกรณ์ RFID

$$= 637,179 \frac{1}{5 \times 365}$$

= 349.14 บาทต่อคันต่อวัน

ภาคผนวก ค

การนำเข้าข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และผลลัพธ์จากโปรแกรม

OBTIMIZING MODEL FOR BUS ROUTE 17

```
set I;                                         /* time period */
set J;                                         /* bus route direction */
param T{i in I, j in J};                       /* time running in minute */
param R{i in I, j in J};                       /* Ridership in time period i direction j */
param F;                                       /* Fare average per passenger-trip */
param O;                                       /* Running cost per vehicle-kilometer */
param D{j in J};                               /* Distance on direction j */
param OD{j in J} := O * D[j];                  /* Operating Cost per direction */
param fl{i in I, j in J};                      /* Minimum Frequency Required */
param t{i in I, j in J};                       /* travel time in time period i direction j*/

var f{i in I, j in J}, integer, >=0;           /* assign frequency in time period i direction j */
var a1{i in I, j in J}, integer, >=0;          /* number of bus from j arriving j+1 before i+1*/
var a2{i in I, j in J}, integer, >=0;          /* number of bus from j arriving j+1 after i+1*/
var ABB{i in I, j in J}, integer, >=0;         /* number of bus departure in time period i+1 */
var ABA{i in I, j in J}, integer, >=0;         /* number of bus departure in time period i+2*/
var DB{i in I, j in J}, integer >=0;   /* number of bus from depot to terminal j in time period i */
var SB{i in I, j in J}, integer >=0;           /*  no. of stored bus in time period i direction j*/
var TB, integer, >=0;                          /* total bus*/

maximize profit : (sum{i in I, j in J} F * R[i,j]) - (sum{i in I, j in J} f[i,j] * OD[j]) - 1832.78 - (580.25 * TB);
s.t.min_f{i in I, j in J}: f[i,j] >= fl[i,j];
s.t.arrival_bus_before{i in I, j in J}: a1[i,3-j] <= ((T[i,j] + 120 - T[i,j] + t[i,j]) * f[i,j] / 60);
s.t.con{i in I, j in J}: a1[i,3-j] <= f[i,j];
s.t.arrival_bus_before_con{i in I, j in J}: a1[i,3-j] = f[i,j] - a2[i,3-j];
s.t.setzero1: ABB[1,1] = 0;
s.t.setzero2: ABB[1,2] = 0;
s.t.setzero3: ABA[1,1] = 0;
s.t.setzero4: ABA[1,2] = 0;
s.t.setzero5: ABA[2,2] = 0;
s.t.setzero6: ABA[2,1] = 0;
s.t.arrival_bus_before22: ABB[2,2] = a1[1,2];
s.t.arrival_bus_before21: ABB[2,1] = a1[1,1];
s.t.arrival_bus_before32: ABB[3,2] = a1[2,2];
s.t.arrival_bus_before31: ABB[3,1] = a1[2,1];
```

s.t.arrival_bus_before42: ABB[4,2] = a1[3,2];

s.t.arrival_bus_before41: ABB[4,1] = a1[3,1];

s.t.arrival_bus_before52: ABB[5,2] = a1[4,2];

s.t.arrival_bus_before51: ABB[5,1] = a1[4,1];

s.t.arrival_bus_before62: ABB[6,2] = a1[5,2];

s.t.arrival_bus_before61: ABB[6,1] = a1[5,1];

s.t.arrival_bus_before72: ABB[7,2] = a1[6,2];

s.t.arrival_bus_before71: ABB[7,1] = a1[6,1];

s.t.arrival_bus_before82: ABB[8,2] = a1[7,2];

s.t.arrival_bus_before81: ABB[8,1] = a1[7,1];

s.t.arrival_bus_before92: ABB[9,2] = a1[8,2];

s.t.arrival_bus_before91: ABB[9,1] = a1[8,1];

s.t.arrival_bus_before102: ABB[10,2] = a1[9,2];

s.t.arrival_bus_before101: ABB[10,1] = a1[9,1];

s.t.arrival_bus_before112: ABB[11,2] = a1[10,2];

s.t.arrival_bus_before111: ABB[11,1] = a1[10,1];

s.t.arrival_bus_before122: ABB[12,2] = a1[11,2];

s.t.arrival_bus_before121: ABB[12,1] = a1[11,1];

s.t.arrival_bus_before132: ABB[13,2] = a1[12,2];

s.t.arrival_bus_before131: ABB[13,1] = a1[12,1];

s.t.arrival_bus_after32: ABA[3,2] = a2[1,2];

s.t.arrival_bus_after31: ABA[3,1] = a2[1,1];

s.t.arrival_bus_after42: ABA[4,2] = a2[2,2];

s.t.arrival_bus_after41: ABA[4,1] = a2[2,1];

s.t.arrival_bus_after52: ABA[5,2] = a2[3,2];

s.t.arrival_bus_after51: ABA[5,1] = a2[3,1];

s.t.arrival_bus_after62: ABA[6,2] = a2[4,2];

s.t.arrival_bus_after61: ABA[6,1] = a2[4,1];

s.t.arrival_bus_after72: ABA[7,2] = a2[5,2];

s.t.arrival_bus_after71: ABA[7,1] = a2[5,1];

s.t.arrival_bus_after82: ABA[8,2] = a2[6,2];

s.t.arrival_bus_after81: ABA[8,1] = a2[6,1];

s.t.arrival_bus_after92: ABA[9,2] = a2[7,2];

s.t.arrival_bus_after91: ABA[9,1] = a2[7,1];

s.t.arrival_bus_after102: ABA[10,2] = a2[8,2];

s.t.arrival_bus_after101: ABA[10,1] = a2[8,1];

```
s.t.arrival_bus_after112: ABA[11,2] = a2[9,2];
s.t.arrival_bus_after111: ABA[11,1] = a2[9,1];
s.t.arrival_bus_after122: ABA[12,2] = a2[10,2];
s.t.arrival_bus_after121: ABA[12,1] = a2[10,1];
s.t.arrival_bus_after132: ABA[13,2] = a2[11,2];
s.t.arrival_bus_after131: ABA[13,1] = a2[11,1];

s.t.S1{i in I, j in J}: SB[1,1] = 0;
s.t.S2{i in I, j in J}: SB[1,2] = 0;
s.t.store1{i in I, j in J}: SB[1,j] = DB[1,j] - f[1,j];
s.t.store2{i in I, j in J}: DB[2,j] = SB[1,j] + ABB[2,j] + ABA[2,j] - f[2,j];
s.t.s3{i in I, j in J}: SB[2,j] = DB[2,j] + SB[1,j] + ABB[2,j] + ABA[2,j] - f[2,j];
s.t.store3{i in I, j in J}: DB[3,j] = SB[2,j] + ABB[3,j] + ABA[3,j] - f[3,j];
s.t.s4{i in I, j in J}: SB[3,j] = DB[3,j] + SB[2,j] + ABB[3,j] + ABA[3,j] - f[3,j];
s.t.store4{i in I, j in J}: DB[4,j] = SB[3,j] + ABB[4,j] + ABA[4,j] - f[4,j];
s.t.s5{i in I, j in J}: SB[4,j] = DB[4,j] + SB[3,j] + ABB[4,j] + ABA[4,j] - f[4,j];
s.t.store5{i in I, j in J}:.DB[5,j] = SB[4,j] + ABB[5,j] + ABA[5,j] - f[5,j];
s.t.s6{i in I, j in J}: SB[5,j] = DB[5,j] + SB[4,j] + ABB[5,j] + ABA[5,j] - f[5,j];
s.t.store6{i in I, j in J}: DB[6,j] = SB[5,j] + ABB[6,j] + ABA[6,j] - f[6,j];
s.t.s7{i in I, j in J}: SB[6,j] = DB[6,j] + SB[5,j] + ABB[6,j] + ABA[6,j] - f[6,j];
s.t.store7{i in I, j in J}: DB[7,j] = SB[6,j] + ABB[7,j] + ABA[7,j] - f[7,j];
s.t.s8{i in I, j in J}: SB[7,j] = DB[7,j] + SB[6,j] + ABB[6,j] + ABA[6,j] - f[6,j];
s.t.store8{i in I, j in J}: DB[8,j] = SB[7,j] + ABB[8,j] + ABA[8,j] - f[8,j];
s.t.s9{i in I, j in J}: SB[8,j] = DB[8,j] + SB[7,j] + ABB[8,j] + ABA[8,j] - f[8,j];
s.t.store9{i in I, j in J}: DB[9,j] = SB[8,j] + ABB[9,j] + ABA[9,j] - f[9,j];
s.t.s10{i in I, j in J}: SB[9,j] = DB[9,j] + SB[8,j] + ABB[9,j] + ABA[9,j] - f[9,j];
s.t.store10{i in I, j in J}: DB[10,j] = SB[9,j] + ABB[10,j] + ABA[10,j] - f[10,j];
s.t.s11{i in I, j in J}: SB[10,j] = DB[10,j] + SB[9,j] + ABB[10,j] + ABA[10,j] - f[10,j];
s.t.store11{i in I, j in J}: DB[11,j] = SB[10,j] + ABB[11,j] + ABA[11,j] - f[11,j];
s.t.s12{i in I, j in J}: SB[11,j] = DB[11,j] + SB[10,j] + ABB[11,j] + ABA[11,j] - f[11,j];
s.t.store12{i in I, j in J}: DB[12,j] = SB[11,j] + ABB[12,j] + ABA[12,j] - f[12,j];
s.t.s13{i in I, j in J}: SB[12,j] = DB[12,j] + SB[11,j] + ABB[12,j] + ABA[12,j] - f[12,j];
s.t.store13{i in I, j in J}: DB[13,j] = SB[12,j] + ABB[13,j] + ABA[13,j] - f[13,j];
s.t.s14{i in I, j in J}: SB[13,j] = DB[13,j] + SB[12,j] + ABB[13,j] + ABA[13,j] - f[13,j];
s.t.totalbus: TB >= sum{i in I, j in J} DB[i,j];
```

```
data;
set I := 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13;
set J := 1 2;

param T :1          2 :=
1           0       0
2           60 .    60
3           120     120
4           180     180
5           240     240
6           300     300
7           360     360
8           420     420
9           480     480
10          540     540
11          600     600
12          660     660
13          720     720;

param R :       1       2 :=
1       45      23 .
2       45      39
3       36      30
4       50      21
5       42      27
6       38      34
7       57      30
8       82      27
9       75      38
10      66      57
11      63      55
12      64      59
13      39      53;
param F := 10.36;
param O := 3.68;
param D := 1 25.6 2 25.6;
```

```
param fl :      1       2 :=
1       2       1
2       2       2
3       2       1
4       2       1
5       2       1
6       2       1
7       2       1
8       2       1
9       2       2
10      2       2
11      2       3
12      2       2
13      2       2;

param t : 1     2 :=
1       65      55
2       63      55
3       65      51
4       61      53
5       61      53
6       63      54
7       59      55
8       64      55
9       64      53
10      64      59
11      64      59
12      57      57
13      56      55;
end;
```

Problem: final_17

Rows: 834

Columns: 183 (183 integer, 0 binary)

Non-zeros: 3870

Status: INTEGER OPTIMAL

Objective: profit = 2653.146 (MAXimum)

3093.1488 (LP)

No. Column name Activity Lower bound

Upper bound

------ ------------ ------------- ------------- ------------

-

1	f[1,1]	*	2	0
2	f[1,2]	*	3	0
3	f[2,1]	*	2	0
4	f[2,2]	*	2	0
5	f[3,1]	*	2	0
6	f[3,2]	*	2	0
7	f[4,1]	*	2	0
8	f[4,2]	*	2	0
9	f[5,1]	*	2	0
10	f[5,2]	*	1	0
11	f[6,1]	*	2	0
12	f[6,2]	*	3	0
13	f[7,1]	*	2	0
14	f[7,2]	*	2	0
15	f[8,1]	*	2	0
16	f[8,2]	*	1	0
17	f[9,1]	*	2	0
18	f[9,2]	*	2	0
19	f[10,1]	*	2	0
20	f[10,2]	*	2	0
21	f[11,1]	*	2	0
22	f[11,2]	*	3	0
23	f[12,1]	*	2	0
24	f[12,2]	*	2	0
25	f[13,1]	*	2	0
26	f[13,2]	*	2	0
27	a1[1,2]	*	2	0
28	a1[1,1]	*	2	0
29	a1[2,2]	*	2	0
30	a1[2,1]	*	1	0
31	a1[3,2]	*	2	0
32	a1[3,1]	*	1	0
33	a1[4,2]	*	1	0
34	a1[4,1]	*	1	0
35	a1[5,2]	*	2	0
36	a1[5,1]	*	1	0
37	a1[6,2]	*	2	0
38	a1[6,1]	*	2	0
39	a1[7,2]	*	1	0
40	a1[7,1]	*	1	0
41	a1[8,2]	*	1	0
42	a1[8,1]	*	1	0
43	a1[9,2]	*	1	0
44	a1[9,1]	*	2	0
45	a1[10,2]	*	2	0
46	a1[10,1]	*	2	0
47	a1[11,2]	*	2	0
48	a1[11,1]	*	2	0
49	a1[12,2]	*	2	0
50	a1[12,1]	*	1	0
51	a1[13,2]	*	0	0
52	a1[13,1]	*	0	0
53	a2[1,2]	*	0	0
54	a2[1,1]	*	1	0
55	a2[2,2]	*	0	0
56	a2[2,1]	*	1	0
57	a2[3,2]	*	0	0
58	a2[3,1]	*	1	0
59	a2[4,2]	*	1	0

60 a2[4,1]	*	1	0	96 ABB[9,1]	*	1	0
61 a2[5,2]	*	0	0	97 ABB[10,2]	*	1	0
62 a2[5,1]	*	0	0	98 ABB[10,1]	*	2	0
63 a2[6,2]	*	0	0	99 ABB[11,2]	*	2	0
64 a2[6,1]	*	1	0	100 ABB[11,1]	*	2	0
65 a2[7,2]	*	1	0	101 ABB[12,2]	*	2	0
66 a2[7,1]	*	1	0	102 ABB[12,1]	*	2	0
67 a2[8,2]	*	1	0	103 ABB[13,2]	*	2	0
68 a2[8,1]	*	0	0	104 ABB[13,1]	*	1	0
69 a2[9,2]	*	1	0	105 ABA[1,1]	*	0	0
70 a2[9,1]	*	0	0	106 ABA[1,2]	*	0	0
71 a2[10,2]	*	0	0	107 ABA[2,2]	*	0	0
72 a2[10,1]	*	0	0	108 ABA[2,1]	*	0	0
73 a2[11,2]	*	0	0	109 ABA[3,2]	*	0	0
74 a2[11,1]	*	1	0	110 ABA[3,1]	*	1	0
75 a2[12,2]	*	0	0	111 ABA[4,2]	*	0	0
76 a2[12,1]	*	1	0	112 ABA[4,1]	*	1	0
77 a2[13,2]	*	2	0	113 ABA[5,2]	*	0	0
78 a2[13,1]	*	2	0	114 ABA[5,1]	*	1	0
79 ABB[1,1]	*	0	0	115 ABA[6,2]	*	1	0
80 ABB[1,2]	*	0	0	116 ABA[6,1]	*	1	0
81 ABB[2,2]	*	2	0	117 ABA[7,2]	*	0	0
82 ABB[2,1]	*	2	0	118 ABA[7,1]	*	0	0
83 ABB[3,2]	*	2	0	119 ABA[8,2]	*	0	0
84 ABB[3,1]	*	1	0	120 ABA[8,1]	*	1	0
85 ABB[4,2]	*	2	0	121 ABA[9,2]	*	1	0
86 ABB[4,1]	*	1	0	122 ABA[9,1]	*	1	0
87 ABB[5,2]	*	1	0	123 ABA[10,2]	*	1	0
88 ABB[5,1]	*	1	0	124 ABA[10,1]	*	0	0
89 ABB[6,2]	*	2	0	125 ABA[11,2]	*	1	0
90 ABB[6,1]	*	1	0	126 ABA[11,1]	*	0	0
91 ABB[7,2]	*	2	0	127 ABA[12,2]	*	0	0
92 ABB[7,1]	*	2	0	128 ABA[12,1]	*	0	0
93 ABB[8,2]	*	1	0	129 ABA[13,2]	*	0	0
94 ABB[8,1]	*	1	0	130 ABA[13,1]	*	1	0
95 ABB[9,2]	*	1	0	131 DB[1,1]	*	2	0

132 DB[1,2]	*	3	0
133 DB[2,1]	*	0	0
134 DB[2,2]	*	0	0
135 DB[3,1]	*	0	0
136 DB[3,2]	*	0	0
137 DB[4,1]	*	0	0
138 DB[4,2]	*	0	0
139 DB[5,1]	*	0	0
140 DB[5,2]	*	0	0
141 DB[6,1]	*	0	0
142 DB[6,2]	*	0	0
143 DB[7,1]	*	0	0
144 DB[7,2]	*	0	0
145 DB[8,1]	*	0	0
146 DB[8,2]	*	0	0
147 DB[9,1]	*	0	0
148 DB[9,2]	*	0	0
149 DB[10,1]	*	0	0
150 DB[10,2]	*	0	0
151 DB[11,1]	*	0	0
152 DB[11,2]	*	0	0
153 DB[12,1]	*	0	0
154 DB[12,2]	*	0	0
155 DB[13,1]	*	0	0
156 DB[13,2]	*	0	0
157 SB[1,1]	*	0	0
158 SB[1,2]	*	0	0
159 SB[2,1]	*	0	0
160 SB[2,2]	*	0	0
161 SB[3,1]	*	0	0
162 SB[3,2]	*	0	0
163 SB[4,1]	*	0	0
164 SB[4,2]	*	0	0
165 SB[5,1]	*	0	0
166 SB[5,2]	*	0	0
167 SB[6,1]	*	0	0
168 SB[6,2]	*	0	0
169 SB[7,1]	*	0	0
170 SB[7,2]	*	0	0
171 SB[8,1]	*	0	0
172 SB[8,2]	*	0	0
173 SB[9,1]	*	0	0
174 SB[9,2]	*	0	0
175 SB[10,1]	*	0	0
176 SB[10,2]	*	0	0
177 SB[11,1]	*	0	0
178 SB[11,2]	*	0	0
179 SB[12,1]	*	0	0
180 SB[12,2]	*	0	0
181 SB[13,1]	*	0	0
182 SB[13,2]	*	0	0
183 TB	*	5	0

End of output

ประวัติผู้วิจัย

นางกาญจน์กรอง สุอังคะ เกิดวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ.2520 ได้รับทุนพัฒนาอาจารย์วิทยาเขตสารสนเทศ จากทบวงมหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2545 เพื่อศึกษาระดับปริญญาโท-เอก ภายหลังจากการสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2547 ได้มีโอกาสเข้าร่วมทำงานกับบริษัทเอก-ชัยดิสทริบิวชั่น จำกัดในตำแหน่งนักวิเคราะห์การขนส่ง (Transport Analyst) เป็นระยะเวลา 1 ปี และได้รับการบรรจุเข้าเป็นพนักงานของรัฐ ในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาในวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2549 มีความถนัดในงานเกี่ยวกับการบริหารจัดการระบบขนส่งสินค้าและมีความสนใจที่จะศึกษาในงานเกี่ยวข้องกับการวางแผน บริหารระบบขนส่งสาธารณะ